

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Мікульонок І. О.

МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ І МАШИНИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Практикум з навчальної дисципліни

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітніми програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
та «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних
матеріалів і виробів» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2019

УДК 66.02 (075.8)
ББК 35.11я73
М59

Рецензенти: *Андрєєв І. А.*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний
редактор *Карвацький А. Я.*, д-р техн. наук, проф., с.н.с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 2 від 31.10.2019 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 8 від 23.09.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

Мікульонок Ігор Олегович, д-р техн. наук, проф., с.н.с.

МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ І МАШИНИ ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Практикум з навчальної дисципліни

Механічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» спеціальності 131 «Прикладна механіка» та «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / І. О. Мікульонок ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 0,808 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 53 с.

Призначення посібника – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, здобути навички розрахунків механічних процесів, апаратів і машин хімічної технології. Особливістю посібника є систематизація теоретичного навчального матеріалу з метою підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, набуття навичок з розрахунків механічних процесів, апаратів і машин хімічної технології та їх аналізу, розвиток наукового мислення студентів.

Посібник містить описи одинадцяти завдань до практичних робіт за п'ятьма розділами. Для якісного виконання самоконтролю студентів з вивчення теоретичного і практичного навчального матеріалу запропоновані питання до представлених практичних робіт за теоретичними розділами. У кінці посібника наведено список рекомендованих навчально-методичних матеріалів.

© І. О. Мікульонок, 2019
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ІХФ), 2019

ВСТУП

Під час виконання завдань з практикуму з дисципліни «Процеси, апарати і машини галузі» студент повинен виявити здібність до самостійного вирішення питання проектування обладнання, а також знання новітніх досягнень науки та техніки і вміти практично оцінити можливість оригінальних технічних та конструктивних рішень.

Дисципліна «Процеси, апарати і машини галузі» викладається для здобувачів ступеня бакалавра за освітніми програмами «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання» спеціальності 131 «Прикладна механіка» та «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» на 3-му і 4-му курсах протягом 6, 7 і 8-го навчальних семестрів і відноситься до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки.

У дисципліні «Процеси, апарати і машини галузі» вивчається теорія основних процесів, принципи побудови та методи розрахунків машин та апаратів, які використовуються для проведення цих процесів. Аналіз закономірностей проходження основних процесів і розробка узагальнених методів розрахунків апаратів і машин проводиться на основі фундаментальних законів фізики, хімії, термодинаміки, економіки та інших наук.

Ця інженерна дисципліна є важливим розділом теоретичних основ хімічної технології. У той же час, це складова частина комплексу дисциплін, які висвітлюють різні аспекти хімічної технології як науки, та її закономірності можуть бути використані під час розробки найефективніших з техніко-економічної точки зору процесів різноманітних хімічних машин та апаратів.

Метою навчального посібника «Механічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни» є закріплення та поглиблення студентами теоретичного програмного матеріалу, набуття ними навичок розрахунків механічних процесів, апаратів і машин хімічної технології та підготовка фахівця, який має *компетенцію*: здатність робити обґрунтований вибір обладнання для реалізації механічних процесів та виконувати їх параметричні розрахунки

Завданнями навчального посібника «Механічні процеси, апарати і машини хімічної технології. Практикум з навчальної дисципліни» є формування в майбутнього фахівця такої системи:

знань: процесів та обладнання для дроблення й подрібнення твердих матеріалів, грохочення та класифікування сипких матеріалів, а також змішування, транспортування та живлення (дозування) сипких матеріалів;

умінь: користуючись відповідними методиками та довідковими даними, здійснювати параметричні розрахунки обладнання для дроблення й подріб-

нення твердих матеріалів, грохочення та класифікування сипких матеріалів, а також змішування, транспортування та живлення (дозування) сипких матеріалів.

Основні етапи виконання кожного практичного завдання – вивчення й закріплення теорії, методики розрахунку механічних процесів, апаратів і машин хімічної технології, розв’язок прикладу за запропонованою методикою та виконання індивідуального завдання за варіантом, який видається викладачем.

Для самоконтролю студентів запропоновані контрольні питання за вивченим матеріалом.

1. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ (ПОДРІБНЕННЯ)

1.1. Основні параметри процесу дроблення (подрібнення) твердих матеріалів

Дроблення й подрібнення – це процеси поділу твердого тіла на частини шляхом прикладення зовнішніх сил, при якому перемагаються сили міжмолекулярної взаємодії в подрібнюваному тілі та утворюються нові поверхні.

Дроблення – це процес зменшення розмірів грудок мінеральної сировини та продуктів її переробки методами роздавлювання, розколювання, стирання, удару та їх поєднанням, а *подрібнення* – процес зменшення розмірів кусків мінеральної сировини для одержання зерен розміром 5 мм і менше під дією зовнішніх механічних зусиль.

На практиці застосовують такі методи руйнування: для дроблення – роздавлювання, розколювання, стирання, удар та їх поєднання, а для подрібнення, крім того, злом і зріз. Для м'яких матеріалів також застосовують розрізання, розпилювання, зсув і стругання (рис. 1.1).

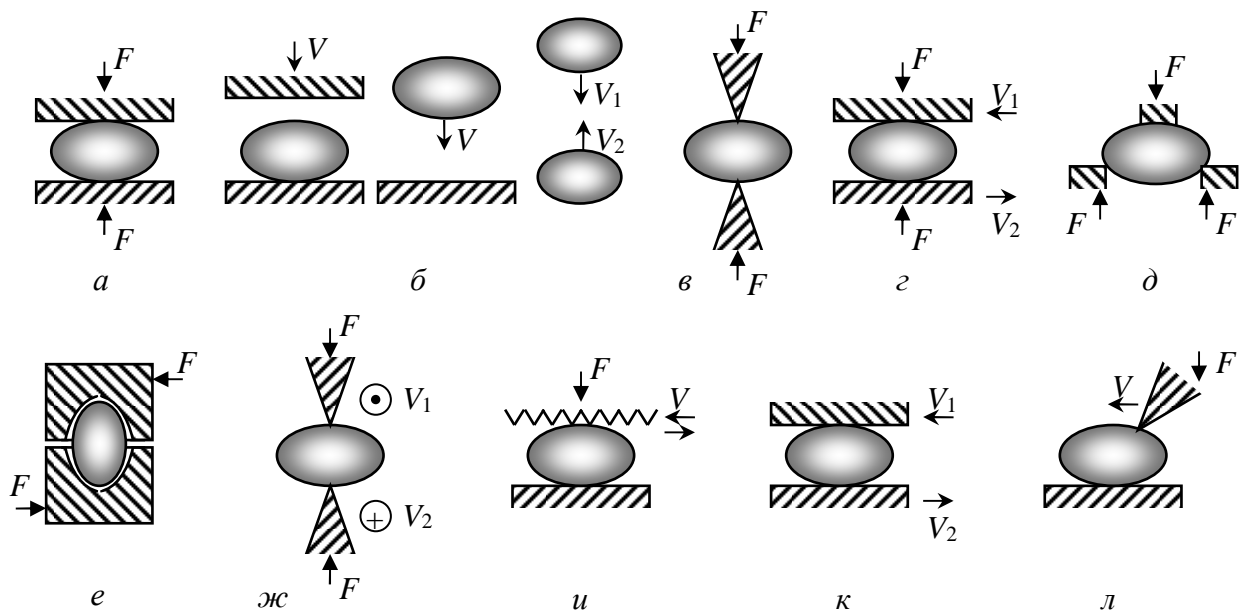


Рис. 1.1. Методи дроблення й подрібнення: а – роздавлювання; б – удар (стиснений і вільний); в – розколювання; г – стирання; д – злом; е – зріз; ж – розрізання; и – розпилювання; к – зсув; л – стругання (F – зусилля; V – швидкість)

Процес дроблення (подрібнення) характеризується *ступенем дроблення (подрібнення)** i , тобто відношенням середнього розміру грудки (зерна) твердого матеріалу перед дробленням (подрібненням) D до середнього розміру грудки (зерна) того самого матеріалу після дроблення (подрібнення) d

* Цей показник іноді також називають лінійним ступенем дроблення (подрібнення).

$$i = \frac{D}{d}, \quad (1.1)$$

а також об'ємним ступенем подрібнення

$$i_o = i^3 = \left(\frac{D}{d}\right)^3. \quad (1.2)$$

Середній розмір грудки (зерна) визначають як середнє арифметичне або середнє геометричне трьох характерних розмірів a , b і c грудки (зерна)

$$d = \frac{a+b+c}{3} \text{ або } d = \sqrt[3]{abc}. \quad (1.3)$$

Грудки (зерна) вихідного матеріалу та грудки (зерна), одержані в результаті подрібнення, не мають правильної форми, тому на практиці їхні середні розміри D і d характеризуються розміром отворів сит, крізь які просіюють твердий сипкий матеріал до й після подрібнення.

Після цього в кожній з n фракцій визначають її середній розмір d_i як півсуму мінімального d_{\min} і максимального d_{\max} розмірів грудок (зерен) у цій фракції

$$d_i = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2}, \quad (1.4)$$

а потім визначають середній розмір грудок (зерен) у суміші

$$d_{\text{сер}} = \frac{d_1 \bar{x}_1 + d_2 \bar{x}_2 + \dots + d_n \bar{x}_n}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_n}, \quad (1.5)$$

де \bar{x}_i – масова частка i -ї фракції в суміші.

1.2. Визначення ступеня дроблення (подрібнення) твердого матеріалу

Мета розрахунку – визначення ступеня дроблення (подрібнення) полідисперсного сипкого матеріалу.

Позначення вихідних величин

A, B, C – три характерні розміри грудок (зерен) вихідного матеріалу, м;

a, b, c – три характерні розміри грудок (зерен) подрібненого продукту, м;

D – середній розмір грудок вихідного матеріалу, м;

d – середній розмір грудок подрібненого продукту, м;

$D_{\text{сер}}$ – середній розмір грудок вихідного матеріалу з урахуванням мінімального й максимального розмірів його грудок (зерен), м;

$d_{\text{сер}}$ – середній розмір грудок подрібненого продукту з урахуванням мінімального й максимального розмірів його грудок (зерен), м;

i – ступінь дроблення (подрібнення);

K_{\min}, K_{\max} – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) вихідного матеріалу, %;

k_{\min}, k_{\max} – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) подрібненого продукту, %;

l – кількість фракцій у вихідному матеріалі;

n – кількість фракцій у подрібненому продукті.

Порядок розрахунку

1. Середній розмір грудок l -ї фракції ($l = \overline{1, n}$) вихідного матеріалу, м:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудок (зерен) i -ї фракції вихідного матеріалу

$$D'_l = \frac{A_l + B_l + C_l}{3},$$

де A_l, B_l, C_l – три характерні розміри грудок (зерен) l -ї фракції вихідного матеріалу, м;

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудок (зерен) l -ї фракції вихідного матеріалу

$$D''_l = \sqrt[3]{A_l B_l C_l}.$$

Відхилення між визначеними середнім арифметичним і середнім геометричним, %

$$\Delta = \frac{|D'_l - D''_l|}{D'_l} 100.$$

Якщо $\Delta < 10$ %, то можна прийняти, що $D_l = D'_l$, інакше $D_l = \frac{D'_l + D''_l}{2}$.

2. Середній розмір грудок l -ї фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$D_l = \frac{D_{l\min} + D_{l\max}}{2} = \frac{D_l K_{l\min} + D_l K_{l\max}}{2},$$

де $K_{l\min}$ і $K_{l\max}$ – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) в l -ї фракції (відсоток від середнього розміру грудки l -ї фракції).

3. Середній розмір грудок вихідного матеріалу

$$D_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{l=1}^n D_l \bar{x}_l}{\sum_{l=1}^n \bar{x}_l},$$

де \bar{x}_{li} – масова частка l -ї фракції у вихідному матеріалі.

4. Середній розмір грудок j -ї фракції ($j = \overline{1, m}$) одержаного продукту, м:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудок (зерен) j -ї фракції продукту

$$d'_j = \frac{a_j + b_j + c_j}{3},$$

де a_j, b_j, c_j – три характерні розміри грудок (зерен) j -ї фракції продукту, м.

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудок (зерен) j -ї фракції вихідного матеріалу

$$d''_j = \sqrt[3]{a_j b_j c_j}.$$

Відхилення між визначеними середнім арифметичним і середнім геометричним, %

$$\delta = \frac{|d'_j - d''_j|}{d'_j} 100.$$

Якщо $\delta < 10$ %, то можна прийняти, що $d_j = d'_j$, інакше $d_j = \frac{d'_j + d''_{ij}}{2}$.

5. Середній розмір грудок j -ї фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$d_j = \frac{d_{j\min} + d_{j\max}}{2} = \frac{d_j k_{j\min} + d_j k_{j\max}}{2},$$

де $k_{j\min}$ і $k_{j\max}$ – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) в продукті (відсоток від середнього розміру грудки продукту).

6. Середній розмір грудок вихідного матеріалу

$$d_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{j=1}^m d_j \bar{x}_j}{\sum_{j=1}^m \bar{x}_j},$$

де \bar{x}_j – масова частка j -ї фракції у вихідному матеріалі.

7. Ступінь дроблення

$$i = \frac{D_{\text{сеп}}}{d_{\text{сеп}}}.$$

Завдання для розрахунку

Визначити ступінь дроблення (подрібнення) сипкого полідисперсного матеріалу. Параметри вихідного матеріалу, що підлягає дробленню (подрібненню): кількість фракцій – n ; масова частка l -ї ($l = \overline{1, n}$) фракції в суміші – \bar{x}_l ; характерні розміри грудок (зерен) – A, B і C , мм; мінімальний розмір грудок (зерен) у фракції становить K_{\min} (%) від середнього розміру грудки, а максимальний – K_{\max} (%). Параметри продукту, одержаного в результаті дроблення (подрібнення): кількість фракцій – одна; характерні розміри грудок (зерен) – a, b і c , мм; мінімальний розмір грудок (зерен) у фракції становить k_{\min} (%) від середнього розміру грудки, а максимальний – k_{\max} (%).

Варіант	A_1 , мм	B_1 , мм	C_1 , мм	A_2 , мм	B_2 , мм	C_2 , мм	\bar{x}_1	\bar{x}_2	K_{\max} , %	K_{\min} , %	Варіант	a , мм	b , мм	c , мм	k_{\max} , %	k_{\min} , %
1	100	90	80	110	90	80	0,10	0,90	102	93	1	60	50	40	103	94
2	90	80	70	95	80	70	0,25	0,75	103	94	2	50	40	40	104	95
3	80	70	60	85	70	60	0,30	0,70	104	95	3	45	40	30	105	96
4	70	60	50	75	60	50	0,35	0,65	105	96	4	40	40	30	106	97
5	60	50	40	65	50	40	0,40	0,60	106	97	5	35	30	30	107	98
6	50	40	40	55	40	40	0,45	0,55	107	98	6	30	30	25	108	90
7	45	40	30	40	40	30	0,50	0,50	108	90	7	25	25	20	109	91
8	40	40	30	45	40	30	0,55	0,45	109	91	8	20	15	25	110	92
9	35	30	30	30	30	30	0,60	0,40	110	92	9	15	15	10	101	99
0	30	30	25	35	30	25	0,65	0,35	101	99	0	10	15	15	102	93

Приклад розрахунку ступеня дроблення твердих матеріалів

Визначити ступінь дроблення сипкого полідисперсного матеріалу. Параметри вихідного матеріалу, що підлягає дробленню: кількість фракцій – $n = 2$; масова частка l -ї ($l = \overline{1, n}$) фракції в суміші – $\bar{x}_1 = 0,2$, $\bar{x}_2 = 0,8$; характерні розміри грудок: першої фракції – $A_1 = 100$ мм, $B_1 = 80$ мм, $C_1 = 80$ мм, другої фракції – $A_2 = 90$ мм, $B_2 = 70$ мм, $C_2 = 75$ мм; мінімальний розмір грудок у фракціях становить $K_{\min} = 95$ % від середнього розміру грудки у фракції, а максимальний – $K_{\max} = 102$ %. Параметри продукту, одержаного в результаті дроблення: кількість фракцій – одна; характерні розміри грудок – $a = 50$ мм, $b = 30$ мм, $c = 45$ мм; мінімальний розмір грудок у продукті становить $k_{\min} = 98$ % від середнього розміру грудки, а максимальний – $k_{\max} = 101$ %.

Розрахунок

1. Середній розмір грудки першої фракції вихідного матеріалу:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудки вихідного матеріалу

$$D'_1 = \frac{A_1 + B_1 + C_1}{3} = \frac{0,1 + 0,08 + 0,08}{3} = 0,0867 \text{ м};$$

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудки вихідного матеріалу

$$D'' = \sqrt[3]{A_1 B_1 C_1} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 0,08 \cdot 0,08} = 0,0864 \text{ м}.$$

Оскільки відхилення між середнім арифметичним і середнім геометричним незначна: $\Delta = \frac{|D' - D''|}{D'} 100\% = \frac{|0,0867 - 0,0864|}{0,0867} 100\% = 3,46\% < 10\%$, то надалі проводимо розрахунок лише для $D_1 = D'_1 = 0,0867 \text{ м}$.

2. Середній розмір грудки другої фракції вихідного матеріалу:

$$D_2 = \frac{A_2 + B_2 + C_2}{3} = \frac{0,09 + 0,07 + 0,075}{3} = 0,0783 \text{ мм}.$$

3. Середній розмір грудок першої фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{D_{1\min} + D_{1\max}}{2} = \frac{D_1 K_{\min} + D_1 K_{\max}}{2} = \\ &= \frac{0,0867 \cdot 0,95 + 0,0867 \cdot 1,02}{2} = 0,0832 \text{ м}. \end{aligned}$$

4. Середній розмір грудок другої фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$\begin{aligned} D_2 &= \frac{D_{2\min} + D_{2\max}}{2} = \frac{D_2 K_{\min} + D_2 K_{\max}}{2} = \\ &= \frac{0,0783 \cdot 0,95 + 0,0783 \cdot 1,02}{2} = 0,0771 \text{ м}. \end{aligned}$$

5. Середній розмір грудок вихідного матеріалу

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_1 \bar{x}_1 + D_2 \bar{x}_2}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2} = \frac{0,0832 \cdot 0,2 + 0,0771 \cdot 0,8}{0,2 + 0,8} = 0,0783 \text{ м}.$$

6. Середній розмір грудки продукту:

$$d = \frac{a + b + c}{3} = \frac{0,05 + 0,03 + 0,045}{3} = 0,0417 \text{ м}.$$

7. Середній розмір грудок продукту з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ньому:

$$d_{\text{сер}} = d = \frac{d_{\text{min}} + d_{\text{max}}}{2} = \frac{dk_{\text{min}} + dk_{\text{max}}}{2} = \frac{0,0417 \cdot 0,98 + 0,0417 \cdot 1,01}{2} = 0,0415 \text{ м.}$$

8. Ступінь дроблення

$$i = \frac{D_{\text{сер}}}{d_{\text{сер}}} = \frac{0,0783}{0,0415} = 1,89.$$

Висновок

Ступінь дроблення сипкого полідисперсного матеріалу становить 1,89.

1.3. Визначення середнього розміру грудок (зерен) подрібненого матеріалу

Мета розрахунку – визначення середнього розміру грудок (зерен) подрібненого матеріалу.

Позначення вихідних величин

A, B, C – три характерні розміри грудок (зерен) вихідного матеріалу, м;

a, b, c – три характерні розміри грудок (зерен) подрібненого продукту, м;

D – середній розмір грудок вихідного матеріалу, м;

d – середній розмір грудок подрібненого продукту, м;

$D_{\text{сер}}$ – середній розмір грудок вихідного матеріалу з урахуванням мінімального й максимального розмірів його грудок (зерен), м;

$d_{\text{сер}}$ – середній розмір грудок подрібненого продукту з урахуванням мінімального й максимального розмірів його грудок (зерен), м;

i – ступінь дроблення (подрібнення);

$K_{\text{min}}, K_{\text{max}}$ – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) вихідного матеріалу, %;

$k_{\text{min}}, k_{\text{max}}$ – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) подрібненого продукту, %;

l – кількість фракцій у вихідному матеріалі;

n – кількість фракцій у подрібненому продукті.

Порядок розрахунку

1. Середній розмір грудок l -ї фракції ($l = \overline{1, n}$) вихідного матеріалу, м:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудок (зерен) i -ї фракції вихідного матеріалу

$$D'_l = \frac{A_l + B_l + C_l}{3},$$

де A_l, B_l, C_l – три характерні розміри грудок (зерен) l -ї фракції вихідного матеріалу, м;

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудок (зерен) l -ї фракції вихідного матеріалу

$$D_l'' = \sqrt[3]{A_l B_l C_l}.$$

Відхилення між визначеними середнім арифметичним і середнім геометричним, %

$$\Delta = \frac{|D_l' - D_l''|}{D_l'} 100.$$

Якщо $\Delta < 10\%$, то можна прийняти, що $D_l = D_l'$, інакше $D_l = \frac{D_l' + D_l''}{2}$.

2. Середній розмір грудок l -ї фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$D_l = \frac{D_{l \min} + D_{l \max}}{2} = \frac{D_l K_{l \min} + D_l K_{l \max}}{2},$$

де $K_{l \min}$ і $K_{l \max}$ – мінімальний і максимальний розміри грудок (зерен) в l -ї фракції (відсоток від середнього розміру грудки l -ї фракції).

3. Середній розмір грудок вихідного матеріалу

$$D_{\text{сер}} = \frac{\sum_{l=1}^n D_l \bar{x}_l}{\sum_{l=1}^n \bar{x}_l},$$

де \bar{x}_{li} – масова частка l -ї фракції у вихідному матеріалі.

4. Середній розмір грудки подрібненого матеріалу

$$d_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{сер}}}{i} = \frac{0,0783}{3} = 0,0261 \text{ м.}$$

Завдання для розрахунку

Визначити середній розмір грудок (зерен) подрібненого матеріалу. Параметри вихідного матеріалу, що підлягає дробленню: кількість фракцій – n ; масова частка l -ї ($l = \overline{1, n}$) фракції в суміші – \bar{x}_i ; характерні розміри грудок: l -ї фракції – A_l, B_l, C_l , мм; мінімальний розмір грудок в l -й фракції становить $K_{j \min}$ від середнього розміру грудки в цій фракції (%), а максимальний – $K_{j \max}$ (%). Ступінь дроблення i .

Варіант	A_1 , мм	B_1 , мм	C_1 , мм	A_2 , мм	B_2 , мм	C_2 , мм	\bar{x}_1	\bar{x}_2	$K_{1\max}$, %	$K_{1\min}$, %	Варіант	i	$K_{2\max}$, %	$K_{2\min}$, %
1	50	40	40	55	40	40	0,45	0,55	107	98	1	2,0	103	94
2	45	40	30	40	40	30	0,50	0,50	108	90	2	2,5	104	95
3	40	40	30	45	40	30	0,55	0,45	109	91	3	3,0	105	96
4	35	30	30	30	30	30	0,60	0,40	110	92	4	3,5	106	97
5	30	30	25	35	30	25	0,65	0,35	101	99	5	4,0	107	98
6	100	90	80	110	90	80	0,10	0,90	102	93	6	4,5	108	90
7	90	80	70	95	80	70	0,25	0,75	103	94	7	5,0	109	91
8	80	70	60	85	70	60	0,30	0,70	104	95	8	5,5	110	92
9	70	60	50	75	60	50	0,35	0,65	105	96	9	6,0	101	99
0	60	50	40	65	50	40	0,40	0,60	106	97	0	6,5	102	93

Приклад розрахунку середнього розміру грудок (зерен) подрібненого матеріалу

Визначити середній розмір грудок (зерен) подрібненого матеріалу. Параметри вихідного матеріалу, що підлягає дробленню: кількість фракцій – $n = 2$; масова частка l -ї ($l = \overline{1, n}$) фракції в суміші – $\bar{x}_1 = 0,2$, $\bar{x}_2 = 0,8$; характерні розміри грудок: першої фракції – $A_1 = 100$ мм, $B_1 = 80$ мм, $C_1 = 80$ мм, другої фракції – $A_2 = 90$ мм, $B_2 = 70$ мм, $C_2 = 75$ мм; мінімальний розмір грудок у першій фракції становить $K_{1\min} = 95$ % від середнього розміру грудки в цій фракції, а максимальний – $K_{1\max} = 102$ %; мінімальний розмір грудок у другій фракції становить $K_{2\min} = 90$ % від середнього розміру грудки в цій фракції, а максимальний – $K_{2\max} = 105$ %. Ступінь дроблення $i = 3$.

Розрахунок

1. Середній розмір грудки першої фракції вихідного матеріалу:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудки вихідного матеріалу

$$D'_1 = \frac{A_1 + B_1 + C_1}{3} = \frac{0,1 + 0,08 + 0,08}{3} = 0,0867 \text{ м};$$

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудки вихідного матеріалу

$$D'' = \sqrt[3]{A_1 B_1 C_1} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 0,08 \cdot 0,08} = 0,0864 \text{ м}.$$

Оскільки відхилення між середнім арифметичним і середнім геометричним незначна: $\Delta = \frac{|D' - D''|}{D'} 100 = \frac{|0,0867 - 0,0864|}{0,0867} 100 = 3,46\% < 10\%$, то надалі проводимо розрахунок лише для $D_1 = D'_1 = 0,0867$ м.

2. Середній розмір грудки другої фракції вихідного матеріалу:

$$D_2 = \frac{A_2 + B_2 + C_2}{3} = \frac{0,09 + 0,07 + 0,075}{3} = 0,0783 \text{ мм.}$$

3. Середній розмір грудок першої фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{D_{1\min} + D_{1\max}}{2} = \frac{D_1 K_{1\min} + D_1 K_{1\max}}{2} = \\ &= \frac{0,0867 \cdot 0,95 + 0,0867 \cdot 1,02}{2} = 0,0832 \text{ м.} \end{aligned}$$

4. Середній розмір грудок другої фракції вихідного матеріалу з урахуванням мінімального і максимального розмірів грудок у ній:

$$\begin{aligned} D_2 &= \frac{D_{2\min} + D_{2\max}}{2} = \frac{D_2 K_{2\min} + D_2 K_{2\max}}{2} = \\ &= \frac{0,0783 \cdot 0,90 + 0,0783 \cdot 1,05}{2} = 0,0763 \text{ м.} \end{aligned}$$

5. Середній розмір грудок вихідного матеріалу

$$D_{\text{сер}} = \frac{D_1 \bar{x}_1 + D_2 \bar{x}_2}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2} = \frac{0,0832 \cdot 0,2 + 0,0763 \cdot 0,8}{0,2 + 0,8} = 0,0777 \text{ м.}$$

6. Середній розмір грудки подрібненого матеріалу

$$d_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{сер}}}{i} = \frac{0,0777}{3} = 0,0259 \text{ м.}$$

Висновок

Середній розмір грудок подрібненого матеріалу становить 0,0259 м.

1.4. Визначення еквівалентного діаметра грудки (зерна) твердого матеріалу правильної геометричної форми

На практиці крім середнього розміру грудки (зерна).сипкого матеріалу іноді потрібно визначити її (його) еквівалентний діаметр, тобто діаметр кулі, об'єм якої дорівнює об'єму грудки (зерна).сипкого матеріалу. Зокрема значення еквівалентного діаметра грудки (зерна) застосовують у розрахунках масообмінних процесів та апаратів хімічної технології.

Мета розрахунку – визначення еквівалентного діаметра грудки (зерна) твердого матеріалу правильної геометричної форми та його порівняння із середнім розміром грудки (зерна).

Позначення вихідних величин

A, B, C – три характерні розміри грудки (зерна), м;
 $d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр грудки (зерна), м;
 $d_{\text{сер}}$ – середній розмір грудки (зерна), м;
 V – об'єм грудки (зерна), м.

Порядок розрахунку

1. Еквівалентний діаметр грудки (зерна), м

$$d_{\text{екв}} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}},$$

де V – об'єм грудки (зерна), м³.

Нижче наведено залежності для визначення об'ємів (м³) і трьох характерних розмірів грудки (зерна) (м) тіл правильної геометричної форми:

а) куб:

– об'єм

$$V = a^3,$$

де a – ребро куба, м;

– характерні розміри:

$$A = a; B = a; C = a;$$

б) прямокутний паралелепіпед:

– об'єм

$$V = abc,$$

де a, b, c – ребра прямокутного паралелепіпеда, м;

– характерні розміри:

$$A = a; B = b; C = c;$$

в) правильна піраміда:

– об'єм

$$V = \frac{Fh}{3},$$

де F і h – площа основи (м²) і висота (м) правильної піраміди;

– характерні розміри:

$$A = f(\text{форма основи}); A = f(\text{форма основи}); C = h;$$

г) правильна пряма призма:

– об'єм

$$V = Fh,$$

де F і h – площа основи (м²) і висота (м) правильної прямої призми;

– характерні розміри:

$$A = f(\text{форма основи}); A = f(\text{форма основи}); C = h;$$

д) коловий прямий циліндр:

– об'єм

$$V = \frac{\pi d^2}{4} h,$$

де d і h – діаметр основи та висота прямого кругового циліндра, м;

– характерні розміри:

$$A = d ; B = d ; C = h ;$$

е) коловий прямий конус:

– об'єм

$$V = \frac{\pi d^2}{12} h,$$

де d і h – діаметр основи та висота прямого кругового циліндра, м;

– характерні розміри:

$$A = d ; B = d ; C = h ;$$

ж) тетраедр (правильний чотиригранник, поверхню якого утворено однаковими правильними трикутниками)

– об'єм

$$V = \frac{\sqrt{2}}{12} a^3,$$

де a – ребро тетраедра, м.

– характерні розміри:

$$A = a ; B = \frac{\sqrt{3}}{2} a ; C = \frac{\sqrt{6}}{3} a ;$$

и) октаедр (правильний восьмигранник, поверхню якого утворено однаковими правильними трикутниками)

– об'єм

$$V = \frac{\sqrt{2}}{3} a^3,$$

де a – ребро октаедра, м.

– характерні розміри:

$$A = a ; B = a ; C = \sqrt{2} a .$$

2. Середній розмір грудки (зерна), м:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудки (зерна)

$$d'_{\text{сер}} = \frac{A + B + C}{3},$$

де A, B, C – три характерні розміри грудки (зерна), м;

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудки (зерна)

$$d''_{\text{сер}} = \sqrt[3]{ABC}.$$

3. Відхилення між визначеними еквівалентним діаметром і середнім розміром грудки (зерна), %;

– між еквівалентним діаметром і середнім арифметичним значенням розміру

$$\Delta' = \frac{|d_{\text{екв}} - d'_{\text{сер}}|}{d_{\text{екв}}} 100;$$

– між еквівалентним діаметром і середнім геометричним значенням розміру

$$\Delta'' = \frac{|d_{\text{екв}} - d''_{\text{сер}}|}{d_{\text{екв}}} 100.$$

Завдання для розрахунку

Визначити еквівалентний діаметр грудки (зерна) певної правильної геометричної форми і порівняти його із середнім розміром цієї грудки (зерна).

Варіант	Форма	Варіант	a (d) мм	Варіант	b , мм	c , мм	Варіант	h , мм
1	Куб	1	20	1	40	40	1	80
2	Прямокутний паралелепіпед	2	25	2	40	30	2	70
3	Правильна трикутна піраміда	3	30	3	40	35	3	60
4	Правильна чотирикутна піраміда	4	35	4	30	30	4	50
5	Правильна трикутна пряма призма	5	40	5	30	25	5	40
6	Правильна чотирикутна пряма призма	6	45	6	90	80	6	30
7	Коловий прямий циліндр	7	50	7	80	70	7	35
8	Коловий прямий конус	8	55	8	70	60	8	30
9	Тетраедр	9	60	9	60	50	9	25
0	Октаедр	0	65	0	—	—	0	—

Приклад визначення еквівалентного діаметра грудки (зерна) твердого матеріалу правильної геометричної форми

Визначити еквівалентний діаметр грудки певної правильної геометричної форми і порівняти його із середнім розміром цієї грудки. Форма грудки – правильна чотирикутна пряма призма. Ребро основи призми $a = 20$ мм, висота призми $h = 30$ мм.

Розрахунок

1. Еквівалентний діаметр грудки, м

$$d_{\text{екв}} = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5}}{\pi}} = 0,0285 \text{ м},$$

де V – об'єм грудки (м^3), який для правильної чотирикутної прямої призми становить

$$V = Fh = a^2 h = 0,02^2 \cdot 0,030 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

2. Середній розмір грудки, м:

а) як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудки

$$d'_{\text{сер}} = \frac{A + B + C}{3} = \frac{a + a + h}{3} = \frac{0,02 + 0,02 + 0,03}{3} = 0,0233 \text{ м},$$

де A, B, C – три характерні розміри грудки (зерна), м;

б) як середнє геометричне трьох характерних розмірів грудки

$$d''_{\text{сер}} = \sqrt[3]{ABC} = \sqrt[3]{aah} = \sqrt[3]{0,02 \cdot 0,02 \cdot 0,03} = 0,0229 \text{ м}.$$

3. Відхилення між визначеними еквівалентним діаметром і середнім розміром грудки, %;

– між еквівалентним діаметром і середнім арифметичним значенням розміру

$$\Delta' = \frac{|d_{\text{екв}} - d'_{\text{сер}}|}{d_{\text{екв}}} 100 = \frac{|0,0285 - 0,0233|}{0,0285} 100 = 18,2 \text{ \%};$$

– між еквівалентним діаметром і середнім геометричним значенням розміру

$$\Delta'' = \frac{|d_{\text{екв}} - d''_{\text{сер}}|}{d_{\text{екв}}} 100 = \frac{|0,0285 - 0,0229|}{0,0285} 100 = 19,6 \text{ \%}.$$

Висновок

Еквівалентний діаметр грудки становить 0,0285 м.

Середній розмір грудки: визначений як середнє арифметичне трьох характерних розмірів грудки становить 0,0233 мм, а визначений як середнє геометричне – 0,029 мм, що істотно (більше ніж на 10 %) відрізняється від еквівалентного діаметра.

2. ДРОБЛЕННЯ І ПОДРІБНЕННЯ ТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Дроблення здійснюється в дробарках, подрібнення – у млинах.

Використання твердих матеріалів, подрібнених на куски, грудки або зерна, дає змогу значно інтенсифікувати процеси тепломасообміну, прискорити хімічні реакції, тому що внаслідок дроблення й подрібнення істотно збільшується площа поверхні матеріалу на одиницю об'єму.

Подрібнювання може здійснюватися в одну або кілька стадій.

Щоб одержати готовий продукт з вихідних кусків, грудок або зерен твердого матеріалу можуть бути застосовані як дробарки крупного дроблення, наприклад, щоківі, дробарки середнього дроблення, наприклад, валкові, а також млини, наприклад, кульові.

2.1. Розрахунок щокової дробарки

Щоква дробарка – це дробарка (машина для дроблення), дроблення в якій здійснюється стисненням матеріалу між щоками (ДСТУ 2411).

Далі розглянуто щокву дробарку з простим рухом щоки, тобто дробарку, точки рухомої щоки якої рухаються по прямих лініях або по дугах кола, близьких до прямих (рис. 2.1).

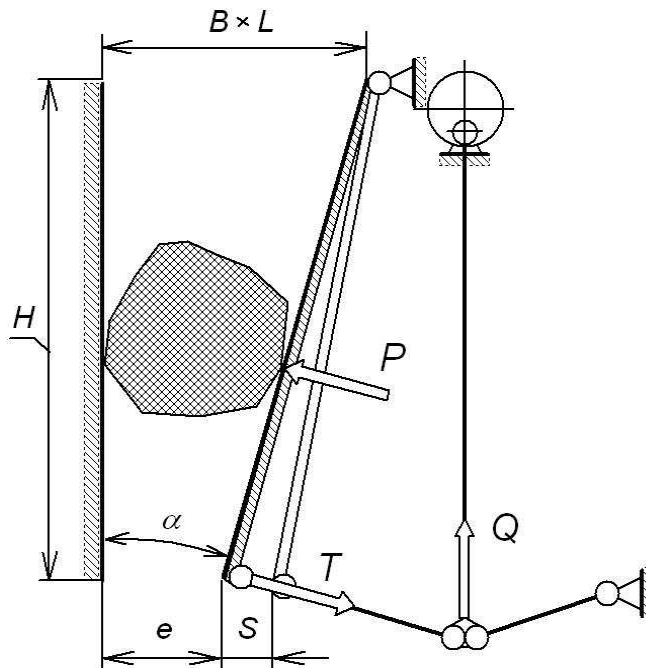


Рис. 2.1. Схема дроблення твердого матеріалу в щоківій дробарці: α – кут захоплення, $^{\circ}$; H – висота камери дроблення, м; B і L – глибина і ширина пащі дробарки, відповідно, м; e – ширина шпальта, м; S – хід щоки, м; P і T – зусилля дроблення і зусилля в передній розпірній плиті, відповідно, Н

Мета розрахунку – визначення потрібної кількості дробарок, потужності їх приводів, а також величини сил, які діють в елементах механізму дробарки.

Позначення вихідних величин

$d_{\text{ТВ}}$ – середній розмір вихідних кусків, м;

$d_{\text{ТК}}$ – те ж, подрібнених кусків, м;

G – масова витрата твердого матеріалу, кг/с;

$e_{\text{в}}$ – ексцентриситет ексцентрикового вала, м;

$E_{\text{т}}$ – модуль пружності подрібнюваного матеріалу під час розтягу, Па;

S – хід щоки, м;

α – кут захоплення, ...°;

$\mu_{\text{ТК}}$ – коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу;

$\rho_{\text{т}}$ – істинна густина матеріалу, кг/м³;

$\sigma_{\text{ТВ}}^+$ – границя міцності подрібнюваного матеріалу при стиску, Па;

η – коефіцієнт корисної дії привода.

Порядок розрахунку

1. Ширина шпальта, м

$$e = d_{\text{ТК}} - \frac{S}{2}.$$

2. Розміри пащі, м, обираються залежно від середнього розміру вихідних кусків з інтервалів для ширини $B = (1,15 \dots 1,20) d_{\text{ТВ}}$ і довжини $L = [m + (1,15 \dots 1,20)] d_{\text{ТВ}}$, де m – ціле число (зазвичай $m = 1$).

3. Висота нерухомої щоки, м

$$H = \frac{B - e}{\text{tg}\alpha}.$$

4. Ступінь подрібнення

$$i = \frac{d_{\text{ТВ}}}{d_{\text{ТК}}}.$$

5. Частота обертання ексцентрикового вала (кількість подвійних качань щоки), с⁻¹

$$n \leq 1,107 \sqrt{\frac{\text{tg}\alpha}{S}}.$$

6. Продуктивність однієї дробарки:

– об'ємна, м³/с

$$G_{\text{дВ}} = \frac{n L d_{\text{ТК}} S}{\text{tg}\alpha};$$

– масова, кг/с

$$G_{дМ} = \mu_{тк} \rho_{т} G_{дV}.$$

7. Розрахункова кількість дробарок

$$n'_{д} = \frac{G}{G_{дМ}}.$$

Дійсною кількістю дробарок $n_{д}$ є найближче ціле, яке більше, ніж $n'_{д}$.

8. Потужність привода дробарки, Вт

$$N_{д} = 5 \frac{G_{дМ} (\sigma_{тв}^+)^2}{E_{т} \rho_{т} \eta} \lg i.$$

9. Потужність приводів усіх дробарок, Вт

$$N = n_{д} N_{д}.$$

10. Максимальне зусилля дроблення, Н

$$P_{\max} = 3,42 \frac{N_{д} \eta \cos \alpha}{S n}.$$

11. Максимальне зусилля в розпірній плиті, Н

$$T_{\max} = 0,64 P_{\max}.$$

12. Максимальне зусилля в шатуні, Н

$$Q_{\max} = \frac{N_{д} \eta}{n e_{в}}.$$

13. Маховий момент маховика, кг · м²

$$M_{м} = \frac{N_{д} \eta}{2 \pi^2 n^2 \delta},$$

де $\delta = 0,01-0,03$ – ступінь нерівномірності ходу.

14. Середній діаметр обода маховика $D_{м}$ обирають рівним 0,92...3,20 м.

15. Повна маса маховика, кг

$$m_{м} = k_{м} \frac{M_{м}}{D_{м}^2},$$

де $k_{м} = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує масу маточини і спиць маховика.

Завдання для розрахунку

Визначити необхідну кількість щоккових дробарок із простим рухом щокки для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок, а також величини сил, які діють в елементах механізму дробарки. Параметри

дробарки: хід щоки S ; кут захоплення α ; коефіцієнт корисної дії привода η ; ексцентриситет ексцентрикового вала e_b . Властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу: середній розмір вихідних кусків d_{TB} , подрібнених – d_{TK} ; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу μ_{TK} ; істинна густина ρ_T ; границя міцності при стиску σ_{TB}^+ ; модуль пружності під час розтягу E_T .

Варі- ант	Твердий матеріал	G , т/год	d_{TB} , мм	ρ_T , кг/м ³	σ_{TB}^+ $E_T \cdot 10^{-4}$ МПа	Варі- ант	d_{TK}	S	e_b	μ_{TK}	α , ...°	η
1	Апатит	100	300	2800	80 3,0	1	100	25	35	0,20	15	0,85
2	Антрацит	120	350	1600	25 0,7	2	140	27	30	0,25	16	0,84
3	Бетон	140	400	2300	300 2,0	3	160	28	25	0,30	17	0,83
4	Гіпс	160	450	2690	70 3,0	4	180	30	20	0,35	18	0,82
5	Граніт	180	500	3300	350 7,0	5	200	32	15	0,40	19	0,81
6	Вапняк високої густини	110	550	3000	250 6,0	6	220	33	35	0,45	20	0,80
7	Вапняк низької густини	130	600	2800	150 4,0	7	110	35	30	0,50	21	0,79
8	Вапняк пористий	150	650	2600	50 2,0	8	130	26	25	0,55	22	0,78
9	Колчедан	170	700	5200	125 3,5	9	150	29	20	0,60	23	0,77
0	Мергель	190	750	2800	100 4,0	0	170	31	15	0,65	24	0,76

Приклад розрахунку щокової дробарки

Визначити необхідну кількість щокових дробарок із простим рухом щоки для дроблення $G=190$ т/год мергелю, потужність приводів дробарок, а також величини сил, які діють в елементах механізму дробарки. Параметри дробарки: хід щоки $S=31$ мм; кут захоплення $\alpha=24^\circ$; коефіцієнт корисної дії привода $\eta=0,76$; ексцентриситет ексцентрикового вала $e_b=15$ мм. Властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу: середній розмір вихідних кусків $d_{TB}=750$ мм, подрібнених – $d_{TK}=170$ мм; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{TK}=0,65$; істинна густина $\rho_T=2800$ кг/м³; границя міцності при стиску $\sigma_{TB}^+=100$ МПа; модуль пружності під час розтягу $E_T=4 \cdot 10^4$ МПа.

Розрахунок

1. Ширина шпальта

$$e = d_{TK} - \frac{S}{2} = 0,17 - \frac{0,031}{2} = 0,155 \text{ м.}$$

2. Вибираємо розміри пащі.

Розрахункове значення ширини пащі

$$B = (1,15 \dots 1,20) d_{TB} = (1,15 \dots 1,20) \cdot 0,75 = 0,863 \dots 0,900 \text{ м,}$$

вибираємо ширину пащі $B = 0,881$ м.

Розрахункове значення довжини пащі

$$L = [1 + (1,15 \dots 1,20)] d_{\text{ТВ}} = (2,15 \dots 2,20) \cdot 0,75 = 1,61 \dots 1,65 \text{ м},$$

вибираємо довжину пащі $L = 1,63$ м.

3. Висота рухомої щоки

$$H = \frac{B - e}{\text{tg} \alpha} = \frac{0,881 - 0,155}{\text{tg} 24^\circ} = 1,63 \text{ м}.$$

4. Ступінь дроблення

$$i = \frac{d_{\text{ТВ}}}{d_{\text{ТК}}} = \frac{0,75}{0,17} = 4,41.$$

5. Частота обертання ексцентрикового вала (кількість подвійних коливань щоки)

$$n \leq 1,107 \sqrt{\frac{\text{tg} \alpha}{S}} = 1,107 \sqrt{\frac{\text{tg} 24^\circ}{0,031}} = 4,195 \text{ с}^{-1}.$$

6. Продуктивність однієї дробарки:

– об'ємна

$$G_{\text{дV}} = \frac{n L d_{\text{ТК}} S}{\text{tg} \alpha} = \frac{4,195 \cdot 1,63 \cdot 0,17 \cdot 0,031}{\text{tg} 24^\circ} = 0,081 \text{ м}^3/\text{с};$$

– масова

$$G_{\text{дM}} = \mu_{\text{ТК}} \rho_{\text{T}} G_{\text{дV}} = 0,65 \cdot 2800 \cdot 0,081 = 147 \text{ кг/с}.$$

7. Необхідна кількість дробарок

$$n'_\text{д} = \frac{G}{3,6 \cdot G_{\text{дM}}} = \frac{190}{3,6 \cdot 147} = 0,36,$$

Остаточно приймаємо необхідну кількість дробарок $n_\text{д} = 1$.

8. Потужність привода дробарки

$$N_\text{д} = 5 \frac{G_{\text{дM}} (\sigma_{\text{ТВ}}^+)^2}{E_\text{T} \rho_\text{T} \eta} \lg i = 5 \cdot \frac{147 \cdot (100 \cdot 10^6)^2}{4 \cdot 10^{10} \cdot 2800 \cdot 0,76} \cdot \lg 4,41 = 55800 \text{ Вт}.$$

9. Потужність приводів усіх дробарок

$$N = n_\text{д} N_\text{д} = 1 \cdot 55800 = 55800 \text{ Вт}.$$

10. Максимальне зусилля дроблення

$$P_{\max} = 3,42 \frac{N_d \eta \cos \alpha}{Sn} = 3,42 \cdot \frac{55814 \cdot 0,76 \cdot \cos 24^\circ}{0,031 \cdot 4,195} = 1020000 \text{ Н.}$$

11. Максимальне зусилля в розпирній плиті

$$T_{\max} = 0,64 P_{\max} = 0,64 \cdot 1020000 = 662000 \text{ Н.}$$

12. Максимальне зусилля в шатуні

$$Q_{\max} = \frac{N_d \eta}{ne_B} = \frac{55800 \cdot 0,76}{4,195 \cdot 0,015} = 674000 \text{ Н.}$$

13. Маховий момент маховика

$$M_{\text{м}} = \frac{500 N_d \eta}{\pi^2 n^2 \delta} = \frac{500 \cdot 55800 \cdot 0,76}{3,14^2 \cdot 4,195^2 \cdot 0,02} = 6110 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де $\delta = 0,02$ – ступінь нерівномірності ходу маховика.

14. Середній діаметр обода маховика $D_{\text{м}}$ обирають рівним 0,92...3,20 м. Вибираємо $D_{\text{м}} = 2,1$ м.

15. Повна маса маховика

$$m_{\text{м}} = k_{\text{м}} \frac{M_{\text{м}}}{D_{\text{м}}^2} = 1,2 \cdot \frac{6110}{2,1^2} = 1660 \text{ кг,}$$

де $k_{\text{м}} = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує масу маточини і спиць маховика.

Висновок

Визначили, що для дроблення необхідна одна щоква дробарка з простим рухом щок, потужність приводу усіх дробарки 55,8 кВт.

Маса маховика становить 1660 кг.

Сили, які діють в елементах механізму дробарки:

- максимальне зусилля в розпирній плиті – 0,662 МН;
- максимальне зусилля в шатуні – 0,674 МН.

2.2. Розрахунок конусної дробарки крупного дроблення

Конусна дробарка – це дробарка, у якій матеріал дроблять, стискаючи його між поверхнями конусів, розташованих один в одному та протилежно направлених вершинами, внутрішній з яких є обертовим (ДСТУ 2411).

Далі розглянуто конусну дробарку крупного дроблення з підвішеним валом і дробильною головкою (внутрішнім конусом) у вигляді крутого конуса (так звана гіраційна дробарка) (рис. 2.2).

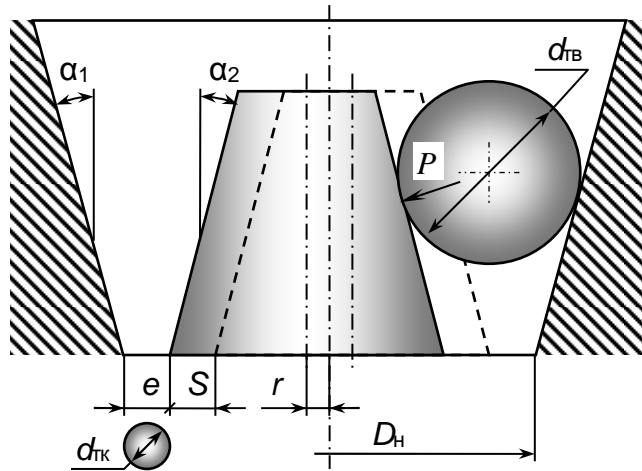


Рис. 2.2. Схема дроблення твердого матеріалу в конусній дробарці крупного дроблення (дробарці з підвішеним валом і дробильною головкою (внутрішнім конусом) у вигляді крутого конуса, або гіраційній дробарці) : α_1 і α_2 – кут між твірною зовнішнього і внутрішнього конуса, а також вертикаллю, відповідно, ...°; r – ексцентриситет вала дробильної головки, м; e – ширина шпальта, м; S – хід щоків, м; D_n – діаметр нижньої основи зовнішнього конуса, м; P – зусилля дроблення, Н

Мета розрахунку – визначення основних конструктивних і технологічних параметрів конусної дробарки крупного дроблення.

Позначення вихідних величин

$d_{тв}$ – середній розмір вихідних кусків, м;
 $d_{тк}$ – те ж, подрібнених кусків, м;
 G_M – масова витрата твердого матеріалу, кг/с;
 G_V – об’ємна витрата твердого матеріалу, м³/с;
 e_b – ексцентриситет вала дробильної головки, м;
 E_T – модуль пружності подрібнюваного матеріалу під час розтягу, Па;
 P – зусилля дроблення, Н;
 S – хід дробильної головки, м;
 α – кут захоплення, ...°;
 $\mu_{тк}$ – коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу;
 ρ_T – істинна густина матеріалу, кг/м³;
 $\sigma_{тв}^+$ – границя міцності подрібнюваного матеріалу при стиску, Па;
 η – коефіцієнт корисної дії привода.

Порядок розрахунку

1. Вибір значення кута захоплення, ...°

Зазвичай кут захоплення конусних дробарок крупного дроблення $\alpha = 21...24^\circ$.

2. Середній розмір подрібнених кусків

$$d_{\text{TK}} = id_{\text{TB}}.$$

3. Частота обертання ексцентрикового вала (кількість коливань дробильної головки), с^{-1}

$$n \leq (0,706 \dots 0,745) \sqrt{\frac{\text{tg} \alpha_1 + \text{tg} \alpha_2}{r}}.$$

4. Розміри робочої камери, м:

– ширина кільцевого завантажувального отвору обирається залежно від середнього розміру вихідних кусків з інтервалу $B = (1,25 \dots 1,33) d_{\text{TB}}$;

– мінімальна ширина кільцевого розвантажувального отвору

$$e = d_{\text{TK}} - r;$$

– висота камери дроблення (висота конусів)

$$H = \frac{B - e - 2r}{\text{ctg} \alpha_1 + \text{ctg} \alpha_2};$$

– діаметр нижньої основи зовнішнього конуса

$$D_{\text{H}} = \frac{G_M (\text{tg} \alpha_1 + \text{tg} \alpha_2)}{2\pi(e + r)r\mu_{\text{TK}}\rho_{\text{T}}n}.$$

5. Об'ємна продуктивність однієї дробарки, $\text{м}^3/\text{с}$

$$G_V = \frac{G_M}{\mu_{\text{TK}}\rho_{\text{T}}}.$$

6. Потужність привода дробарки, Вт

$$N_{\text{д}} = 5 \frac{G_M (\sigma_{\text{TB}}^+)^2}{E_{\text{T}}\rho_{\text{T}}\eta} \lg i.$$

7. Максимальне зусилля дроблення, Н

$$P_{\text{max}} = \frac{2\pi(\sigma_{\text{TB}}^+)^2 d_{\text{TB}}^3}{12E_{\text{T}}r}.$$

8. Складові максимального зусилля дроблення, Н:

– горизонтальна

$$P_{\text{max Г}} = P_{\text{max}} \cos \alpha_2;$$

– вертикальна

$$P_{\text{max В}} = P_{\text{max}} \sin \alpha_2;$$

Завдання для розрахунку

Визначити основні конструктивні й технологічні параметри конусної дробарки крупного дроблення для дроблення G твердого матеріалу. Параметри дробарки: коефіцієнт корисної дії привода η ; ексцентриситет вала дробильної головки r , ступінь дроблення i . Властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу: середній розмір вихідних кусків $d_{\text{ТВ}}$; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{\text{ТК}}$; істинна густина $\rho_{\text{Т}}$; границя міцності при стиску $\sigma_{\text{ТВ}}^+$; модуль пружності під час розтягу $E_{\text{Т}}$.

Варі- ант	Твердий матеріал	G , т/год	$d_{\text{ТВ}}$, мм	$\rho_{\text{Т}}$, кг/м ³	$\sigma_{\text{ТВ}}^+$	$E_{\text{Т}} \cdot 10^{-4}$	Варі- ант	r , мм	$\mu_{\text{ТК}}$	i ...°	η
						МПа					
1	Апатит	200	300	2800	80	3,0	1	10	0,20	4,0	0,85
2	Антрацит	220	310	1600	25	0,7	2	11	0,25	4,5	0,84
3	Бетон	140	320	2300	300	2,0	3	12	0,30	5,0	0,83
4	Гіпс	160	330	2690	70	3,0	4	13	0,35	5,5	0,82
5	Граніт	180	340	3300	350	7,0	5	14	0,40	6,0	0,81
6	Вапняк високої гус- тини	210	350	3000	250	6,0	6	15	0,45	6,5	0,80
7	Вапняк низької гус- тини	230	360	2800	150	4,0	7	16	0,50	7,0	0,79
8	Вапняк пористий	150	370	2600	50	2,0	8	17	0,55	7,5	0,78
9	Колчедан	170	380	5200	125	3,5	9	18	0,60	7,7	0,77
0	Мергель	190	390	2800	100	4,0	0	19	0,65	8,0	0,76

Приклад розрахунку конусної дробарки крупного дроблення

Визначити основні конструктивні й технологічні параметри конусної дробарки крупного дроблення для дроблення $G=240$ т/год апатиту. Параметри дробарки: коефіцієнт корисної дії привода $\eta=0,8$; ексцентриситет вала дробильної головки $r=15$ мм, ступінь дроблення $i=5$. Властивості та характеристики подрібнюваного матеріалу: середній розмір вихідних кусків $d_{\text{ТВ}}=380$ мм; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{\text{ТК}}=0,4$; істинна густина $\rho_{\text{Т}}=2800$ кг/м³; границя міцності при стиску $\sigma_{\text{ТВ}}^+=80$ МПа; модуль пружності під час розтягу $E_{\text{Т}}=3 \cdot 10^4$ МПа.

Розрахунок

1. Вибір значення кута захоплення, ...°

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2.$$

Зазвичай кут захоплення конусних дробарок крупного дроблення $\alpha = 21...24^\circ$, тому вибираємо $\alpha = 22^\circ$ та відповідно $\alpha_1 = 12^\circ$ і $\alpha_2 = 10^\circ$.

2. Середній розмір подрібнених кусків

$$d_{\text{TK}} = \frac{d_{\text{TB}}}{i} = \frac{0,38}{5} = 0,076 \text{ м.}$$

3. Частота обертання ексцентрикового вала (кількість коливань дробильної головки)

$$n \leq (0,706 \dots 0,745) \sqrt{\frac{\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2}{r}} \leq 0,726 \sqrt{\frac{\text{tg}12^\circ + \text{tg}10^\circ}{0,015}} = 3,7 \text{ с}^{-1}.$$

4. Розміри робочої камери:

– ширина кільцевого завантажувального отвору $B = (1,25 \dots 1,33) d_{\text{TB}} = 1,29 \cdot 0,38 = 0,49 \text{ м};$

– мінімальна ширина кільцевого розвантажувального отвору

$$e = d_{\text{TK}} - r = 0,076 - 0,015 = 0,061 \text{ м};$$

– висота камери дроблення (висота конусів)

$$H = \frac{B - 2r - e}{\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2} = \frac{0,49 - 2 \cdot 0,015 - 0,061}{\text{tg}12^\circ + \text{tg}10^\circ} = 1,03 \text{ м};$$

– діаметр нижньої основи зовнішнього конуса

$$D_{\text{H}} = \frac{G_M (\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2)}{2\pi d_{\text{TK}} r \mu_{\text{TK}} \rho_{\text{T}} n} = \frac{66,7 (\text{tg}12^\circ + \text{tg}10^\circ)}{2\pi \cdot 0,076 \cdot 0,015 \cdot 0,4 \cdot 2800 \cdot 3,7} = 0,874 \text{ м},$$

де $G_M = G/3600 = 240 \cdot 1000/3600 = 66,7 \text{ кг/с.}$

5. Об'ємна продуктивність однієї дробарки

$$G_V = \frac{G_M}{\mu_{\text{TK}} \rho_{\text{T}}} = \frac{66,7}{0,4 \cdot 2800} = 0,06 \text{ м}^3/\text{с}.$$

6. Потужність привода дробарки

$$N_{\text{д}} = 5 \frac{G_M (\sigma_{\text{TB}}^+)^2}{E_{\text{T}} \rho_{\text{T}} \eta} \lg i = 5 \frac{66,7 (80 \cdot 10^6)^2}{3 \cdot 10^{10} \cdot 2800 \cdot 0,8} \lg 5 = 22200 \text{ Вт.}$$

7. Максимальне зусилля дроблення

$$P_{\text{max}} = \frac{2\pi (\sigma_{\text{TB}}^+)^2 d_{\text{TB}}^3}{12 E_{\text{T}} r} = \frac{2 \cdot \pi (80 \cdot 10^6)^2 0,38^3}{12 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 0,015} = 408617 \text{ Н.}$$

8. Складові максимального зусилля дроблення:

– горизонтальна

$$P_{\text{max Г}} = P_{\text{max}} \cos \alpha_2 = 409 \cdot \cos 10^\circ = 403 \text{ кН};$$

– вертикальна

$$P_{\max \text{ в}} = P_{\max} \sin \alpha_2 = 409 \cdot \sin 10^\circ = 71 \text{ кН.}$$

Висновок

Геометричні параметри дробарки:

- ширина кільцевого завантажувального отвору – 0,49 м;
- мінімальна ширина кільцевого розвантажувального отвору – 0,061 м;
- висота камери дроблення (висота конусів) – 1,03 м;
- діаметр нижньої основи зовнішнього конуса – 0,874 м.

Потужність приводу дробарки – 22,2 кВт.

Силкові параметри:

- максимальне значення зусилля дроблення – 409 кН;
- горизонтальна складова максимального зусилля дроблення – 403 кН;
- вертикальна складова максимального зусилля дроблення – 71 кН.

2.3. Розрахунок валкової дробарки

Валкова дробарка – це дробарка, дроблення в якій здійснюється стисненням матеріалу між обертовими валками або між валком і нерухомою плитою (ДСТУ 2411).

Далі розглянуто двовалкову дробарку з гладкими валками (рис.2.3).

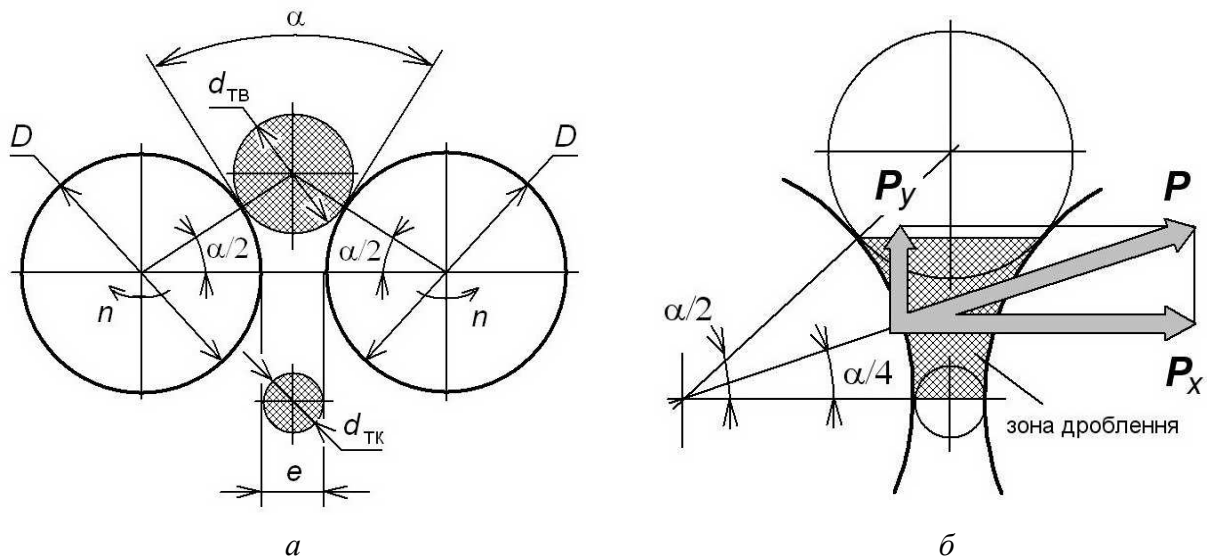


Рис. 2.2. Схема дроблення матеріалу в двовалковій дробарці (а) та схема дії зусиль на валки під час дроблення матеріалу у двовалковій дробарці (б): α – кут захоплення, ...°; D – діаметр валків дробарки, м; d_{TB} і d_{TK} – середній розмір вихідних кусків і подрібнених кусків, відповідно, м; e – величина проміжку між валками, м; n – частота обертання валка, с^{-1} ; P – зусилля дроблення, Н; P_x і P_y – складові зусилля дроблення, спрямовані вздовж осей x і y , відповідно, Н

Мета розрахунку – визначення потрібної кількості дробарок, потужності їх приводів, а також величини сил, які діють на валки з боку подрібнюваного матеріалу.

Позначення вихідних величин

$d_{\text{ТВ}}$ – середній розмір вихідних кусків, м;
 $d_{\text{ТК}}$ – середній розмір подрібнених кусків, м;
 G – масова витрата твердого матеріалу, кг/с;
 f – коефіцієнт тертя подрібнюваного матеріалу по валку;
 $E_{\text{Т}}$ – модуль пружності подрібнюваного матеріалу при розтязі, Па;
 $\mu_{\text{ТК}}$ – коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу;
 $\rho_{\text{Т}}$ – істинна густина матеріалу, кг/м³;
 η – коефіцієнт корисної дії привода;
 $\sigma_{\text{ТВ}}^+$ – границя міцності подрібнюваного матеріалу при стиску, Па.

Порядок розрахунку

1. Мінімальний діаметр валків дробарки D' , м, під час дроблення твердих матеріалів залежить від середнього розміру вихідних кусків матеріалу і дорівнює $(20...25)d_{\text{ТВ}}$.

Дійсне значення діаметра валків D отримують округленням значення D' до найближчого більшого з ряду, м: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,5.

2. Довжину бочки валка L , м, обирають рівною $(0,4...1,0)D$.

3. Величину проміжку між валками e беруть рівною середньому розміру кусків після дроблення $d_{\text{ТК}}$.

4. Ступінь дроблення

$$i = \frac{d_{\text{ТВ}}}{d_{\text{ТК}}}.$$

5. Теоретична частота обертання валка, с⁻¹

$$n_{\text{теор}} = 10,267 \sqrt{\frac{f}{\rho_{\text{Т}} d_{\text{ТВ}} D}}.$$

6. Робоча частота обертання валка n становить $(0,4...0,7) n_{\text{теор}}$.

7. Колова швидкість валків, м/с

$$w = \pi D n.$$

Якщо $w > 6$ м/с, робочу частоту обертання зменшують до величини $n = 6/(\pi D)$, с⁻¹.

8. Продуктивність однієї дробарки:

– об'ємна, м³/с

$$G_{\text{дВ}} = \pi D L d_{\text{ТК}} n;$$

– масова, кг/с

$$G_{дМ} = G_{дV} \mu_{д} \rho_{т}.$$

9. Розрахункова кількість дробарок

$$n'_{д} = \frac{G}{G_{дМ}}.$$

Дійсною кількістю дробарок $n_{д}$ є найближче ціле, яке більше, ніж $n'_{д}$.

10. Потужність привода дробарки, Вт

$$N_{д} = 5 \frac{G_{дМ} (\sigma_{тВ}^+)^2}{E_{т} \rho_{т} \eta} \lg i.$$

11. Потужність приводів усіх дробарок, Вт

$$N = n_{д} N_{д}.$$

12. Кут захоплення

$$\alpha = 2 \arccos \left(\frac{D + e}{D + d_{тВ}} \right).$$

13. Середнє зусилля, яке діє на валок з боку подрібнюваного матеріалу (розпірне зусилля між валками), кН:

$$P = 3,625 \cdot 10^{-5} D L \sigma_{тВ}^+.$$

14. Значення складових розпiрного зусилля, кН:

– горизонтальної

$$P_x = P \cos \left(\frac{\alpha}{4} \right);$$

– вертикальної

$$P_y = P \sin \left(\frac{\alpha}{4} \right).$$

Завдання для розрахунку

Визначити необхідну кількість двовалкових дробарок з гладкими валками для дроблення G твердого матеріалу, потужність приводів дробарок і зусилля, які діють на валки з боку дробленого матеріалу. Коефіцієнт корисної дії привода дробарки η . Властивості та характеристики матеріалу: середній

розмір вихідних кусків $d_{\text{ТВ}}$, подрібнених – $d_{\text{ТК}}$; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{\text{ТК}}$; істина густина $\rho_{\text{Т}}$; границя міцності при стиску $\sigma_{\text{ТВ}}^+$; модуль пружності при розтягу $E_{\text{Т}}$, коефіцієнт тертя матеріалу по валку f .

Вари- ант	Твердий матеріал	G , т/ГОД	$d_{\text{ТВ}}$, мм	$\rho_{\text{Т}}$, кг/м ³	$\sigma_{\text{ТВ}}^+$	$E_{\text{Т}} \cdot 10^{-4}$	f	Вари- ант	$d_{\text{ТК}}$, мм	$\mu_{\text{ТК}}$	η
					МПа						
1	Апатит	10	20	2800	80	3,0	0,30	1	5,0	0,20	0,85
2	Антрацит	12	22	1600	25	0,7	0,29	2	5,5	0,25	0,84
3	Бетон	14	24	2300	300	2,0	0,28	3	6,0	0,30	0,83
4	Гіпс	16	26	2690	70	3,0	0,27	4	6,5	0,35	0,82
5	Граніт	18	28	3300	350	7,0	0,26	5	7,0	0,40	0,81
6	Вапняк високої густини	20	30	3000	250	6,0	0,25	6	7,5	0,45	0,80
7	Вапняк низької густини	7	16	2800	150	4,0	0,24	7	4,0	0,50	0,79
8	Вапняк пористий	9	18	2600	50	2,0	0,23	8	4,5	0,55	0,78
9	Колчедан	11	21	5200	125	3,5	0,22	9	5,7	0,60	0,77
0	Мергель	13	23	2800	100	4,0	0,21	0	6,3	0,65	0,76

Приклад розрахунку валкової дробарки

Визначити необхідну кількість двовалкових дробарок з гладкими валками для дроблення $G=190$ т/год мергелю, потужність приводів дробарок і зусилля, які діють на валки з боку дробленого матеріалу. Коефіцієнт корисної дії привода дробарки $\eta=0,76$. Властивості та характеристики матеріалу: середній розмір вихідних кусків $d_{\text{ТВ}}=23$ мм, подрібнених – $d_{\text{ТК}}=6,3$ мм; коефіцієнт розпушення подрібненого матеріалу $\mu_{\text{ТК}}=0,65$; істина густина $\rho_{\text{Т}}=2800$ кг/м³; границя міцності при стиску $\sigma_{\text{ТВ}}^+=100$ МПа; модуль пружності при розтягу $E_{\text{Т}}=40$ ГПа, коефіцієнт тертя матеріалу по валку $f=0,21$.

Розрахунок

1. Розрахункове значення мінімального діаметру валків дробарки

$$D' = (20 \dots 25) d_{\text{ТВ}} = (20 \dots 25) \cdot 0,023 = 0,46 \dots 0,575 \text{ м}$$

Вибираємо мінімальний діаметр валків дробарки $D'=0,518$ м; дійсне значення діаметра валків дробарки $D = 0,6$ м.

2. Розрахункове значення довжини бочки валка

$$L = (0,4 \dots 1,0) D = (0,4 \dots 1,0) \cdot 0,6 = 0,24 \dots 0,6 \text{ м}$$

Вибираємо довжину бочки валка $L = 0,42$ м.

3. Величина проміжку між валками $e = 0,0063$ м.

4. Ступінь дроблення

$$i = \frac{d_{\text{TB}}}{d_{\text{TK}}} = \frac{0,023}{0,0063} = 3,65.$$

5. Теоретична частота обертання валка

$$n_{\text{теор}} = 10,267 \sqrt{\frac{f}{\rho_{\text{T}} d_{\text{TB}} D}} = 10,267 \cdot \sqrt{\frac{0,21}{2800 \cdot 0,023 \cdot 0,6}} = 0,757 \text{ с}^{-1}.$$

6. Розрахункове значення робочої частоти обертання валка:

$$n = (0,4 \dots 0,7) n_{\text{теор}} = (0,4 \dots 0,7) \cdot 0,757 = 0,303 \dots 0,53 \text{ с}^{-1}.$$

Вибираємо робочу частоту обертання валка $n = 0,42 \text{ с}^{-1}$.

7. Колова швидкість валків

$$w = \pi D n = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,42 = 0,785 \text{ м/с}.$$

8. Продуктивність однієї дробарки:

– об'ємна

$$G_{\text{дV}} = \pi D L d_{\text{TK}} n = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,42 \cdot 0,0063 \cdot 0,42 = 0,0021 \text{ м}^3/\text{с};$$

– масова

$$G_{\text{дM}} = G_{\text{дV}} \mu_{\text{TK}} \rho_{\text{T}} = 0,0021 \cdot 0,65 \cdot 2800 = 3,81 \text{ кг/с}.$$

10. Розрахункова кількість дробарок

$$n'_{\text{д}} = \frac{G}{3,6 G_{\text{дM}}} = \frac{13}{3,6 \cdot 3,81} = 0,95.$$

Остаточню приймаємо необхідну кількість дробарок $n_{\text{д}} = 1$.

11. Потужність привода дробарки

$$N_{\text{д}} = 5 \frac{G_{\text{дM}} (\sigma_{\text{TB}}^+)^2}{E_{\text{T}} \rho_{\text{T}} \eta} \lg i = 5 \cdot \frac{3,81 \cdot (100 \cdot 10^6)^2}{4 \cdot 10^{10} \cdot 2800 \cdot 0,76} \cdot \lg 3,65 = 1260 \text{ Вт}.$$

12. Потужність приводів усіх дробарок

$$N = n_{\text{д}} N_{\text{д}} = 1 \cdot 1260 = 1260 \text{ Вт}.$$

13. Кут захоплення

$$\alpha = 2 \arccos \left(\frac{D + e}{D + d_{\text{TB}}} \right) = 2 \cdot \arccos \left(\frac{0,6 + 0,0063}{0,6 + 0,023} \right) = 13^\circ.$$

14. Середнє зусилля, яке діє на валок з боку подрібнюваного матеріалу (розпірне зусилля між валками):

$$P = 3,625 \cdot 10^{-5} DL\sigma_{\text{ТВ}}^+ = 3,625 \cdot 10^{-5} \cdot 0,6 \cdot 0,42 \cdot 1 \cdot 10^8 = 914000 \text{ Н.}$$

15. Значення складових розпирного зусилля:

– горизонтальної

$$P_x = P \cos\left(\frac{\alpha}{4}\right) = 914 \cdot \cos\left(\frac{13^\circ}{4}\right) = 913 \text{ кН};$$

– вертикальної

$$P_y = P \sin\left(\frac{\alpha}{4}\right) = \sin\left(\frac{13^\circ}{4}\right) = 53 \text{ кН.}$$

Висновок

Визначили, що для дроблення необхідна одна двовалкова дробарка з гладкими валками, потужність якої складає 1260 Вт.

Середнє зусилля, яке діє на валок з боку подрібнювального матеріалу, становить 914 кН.

2.4. Розрахунок барабанного кульового млина

Одним з найпоширеніших типів млинів для розмелювання твердого матеріалу є барабанний кульовий млин, який представляє собою обертовий, зазвичай, циліндричний, барабан, частково заповнений молотьними тілами у вигляді куль.

Подрібнення матеріалу в барабанних кульових млинах відбувається внаслідок дії на нього молотьних тіл, що вільно падають в обертовому барабані.

Мета розрахунку – визначення маси молотьних тіл і потужності приводного електродвигуна.

Позначення вихідних величин

D – внутрішній діаметр барабана, м;

L – довжина барабана, м;

ϕ – коефіцієнт завантаження барабана молотьними тілами;

η – коефіцієнт корисної дії привода.

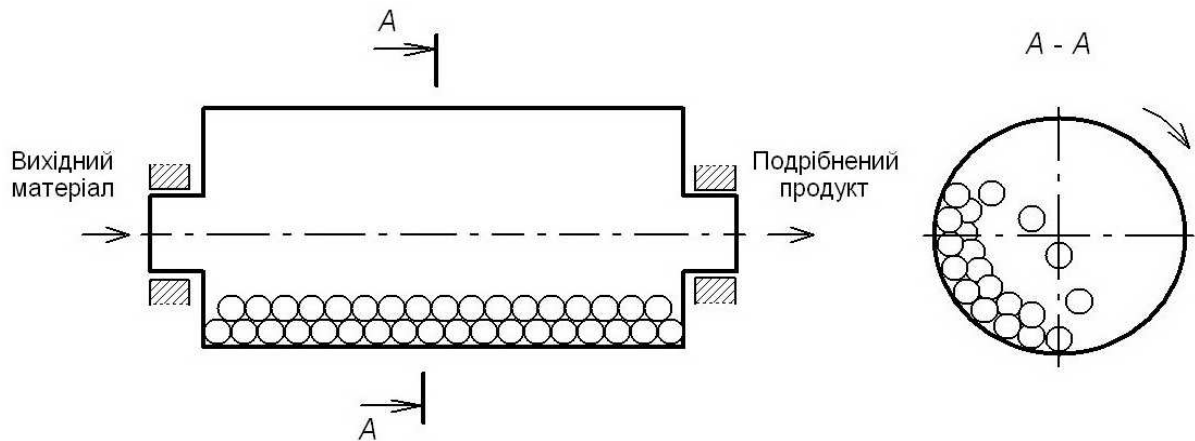


Рис. 2.3. Схема барабанного кульового млина

Порядок розрахунку

1. Внутрішній діаметр футеровки млина, м:

$$D_{\text{вн}} = (0,94 \dots 0,95)D.$$

2. Маса молотьних тіл, кг:

$$M = 3522,5 \varphi D_{\text{вн}}^2 L.$$

3. Частота обертання барабана, с^{-1} :

– у випадку гладкої футеровки

$$n = \frac{0,5377}{\sqrt{D_{\text{вн}}}};$$

– у випадку каблукової футеровки

$$n = \frac{0,4667}{\sqrt{D_{\text{вн}}}}.$$

4. Потужність приводного електродвигуна, кВт:

$$N = 0,014 M D_{\text{вн}} \frac{n}{\eta}.$$

Завдання для розрахунку

Визначити масу молотьних тіл і потужність приводного електродвигуна барабанного кульового млина з барабаном завдовжки L і внутрішнім діаметром D . Коефіцієнт завантаження барабана молотьними тілами φ , коефіцієнт корисної дії привода η .

Варіант	Розміри барабана $D \times L$, мм	Варіант	Коефіцієнт завантаження ϕ	Коефіцієнт корис- ної дії привода η	Тип футеровки
1	1500×1600	1	0,260	0,900	гладка
2	2100×2200	2	0,265	0,905	каблукі
3	2100×3000	3	0,270	0,910	гладка
4	2700×3600	4	0,275	0,915	каблукі
5	3200×4500	5	0,280	0,920	гладка
6	3600×5000	6	0,285	0,925	каблукі
7	4500×5000	7	0,290	0,930	гладка
8	4500×6000	8	0,300	0,935	каблукі
9	5500×6500	9	0,310	0,937	гладка
0	6000×8000	0	0,320	0,940	каблукі

Приклад розрахунку барабанного кульового млина

Визначити масу молотильних тіл і потужність приводного електродвигуна барабанного кульового млина з барабаном завдовжки $L = 8000$ мм і внутрішнім діаметром $D = 6000$ мм. Коефіцієнт завантаження барабана молотильними тілами $\phi = 0,32$, коефіцієнт корисної дії привода $\eta = 0,94$.

Розрахунок

1. Розрахункове значення внутрішнього діаметру футеровки млина:

$$D_{\text{вн}} = (0,94 \dots 0,95)D = (0,94 \dots 0,95) \cdot 6 = 5,64 \dots 5,7 \text{ м};$$

вибираємо $D_{\text{вн}} = 5,7$ м.

2. Маса молотильних тіл

$$M = 3522,5\phi D_{\text{вн}}^2 L = 3522,5 \cdot 0,32 \cdot 5,7^2 \cdot 8 = 290000 \text{ кг}.$$

3. Частота обертання барабана для каблукі футеровки

$$n = \frac{0,4667}{\sqrt{D_{\text{вн}}}} = \frac{0,4667}{\sqrt{5,67}} = 0,196 \text{ с}^{-1}.$$

4. Потужність приводного електродвигуна

$$N = 0,014MD_{\text{вн}} \frac{n}{\eta} = 0,014 \cdot 290000 \cdot 5,67 \frac{0,196}{0,94} = 4800 \text{ кВт}.$$

Висновок

Маса молотильних тіл барабанного кульового млина становить 290 т, а потужність його приводного електродвигуна – 4800 кВт.

3. ГРОХОЧЕННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Процес розділення твердого кускового або зернистого матеріалу на два або декілька класів крупності називається класифікацією за крупністю. Таке розділення може здійснюватися двома основними способами: грохоченням і класифікацією у водному або повітряному середовищі.

Грохочення – процес розділення кускового або зернистого матеріалу на продукти різної крупності (класи) за допомогою просіюючих поверхонь з каліброваними отворами (колосникові решітки, листові й дротяні решета та ін.).

Грохочення здійснюють на грохотах, які мають одну або декілька просіюючих поверхонь.

Внаслідок грохочення вихідні матеріали розділюються на надрешітний (верхній) продукт, зерна (куски) якого більші, ніж розмір отворів просіюючої поверхні, і підрешітний (нижній) продукт, зерна (куски) якого менші, ніж вказаний розмір.

3.1. Розрахунок вібраційного грохота

Одним з найефективніших вібраційних грохотів є самобалансний грохот з прямолінійними коливаннями просіюючої поверхні (сита), який вирізняється простою конструкцією та експлуатацією, а також значною універсальністю.

Мета розрахунку – визначення масової продуктивності грохота.

Позначення вихідних величин

F – площа робочої поверхні сита, м^2 ;

d – еквівалентний розмір отворів сита, м ;

$\rho_{\text{тн}}$ – насипна густина вихідного матеріалу, кг/м^3 .

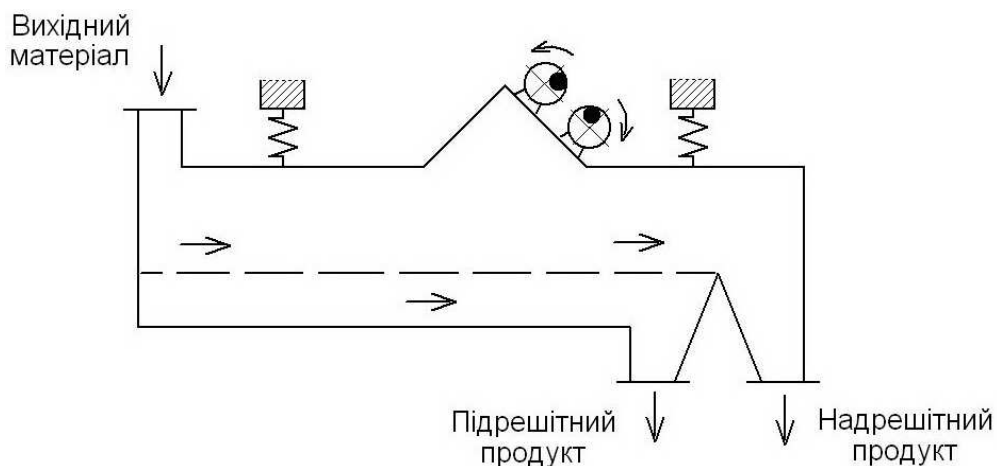


Рис. 3.1. Схема вібраційного грохота

Порядок розрахунку

1. Значення коефіцієнта k_1 , який враховує вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром менші, ніж половина розміру отворів сита:

$$k_1 = f(\bar{x}_{0,5d}).$$

Вміст $\bar{x}_{0,5d}$, %	0	20	40	60	80	90
Коефіцієнт k_1	0,4	0,6	1,0	1,4	1,8	2,0

2. Значення коефіцієнта k_2 , який враховує вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром більші, ніж розмір отворів сита:

$$k_2 = f(\bar{x}_d).$$

Вміст \bar{x}_d , %	10	20	40	60	80	90
Коефіцієнт k_2	0,94	0,97	1,09	1,32	2,00	2,36

3. Значення коефіцієнта k_3 , який враховує ефективність грохочення (коефіцієнт корисної дії (ККД) грохота):

$$k_3 = f(\eta).$$

ККД η , %	50	60	70	80	90	94
Коефіцієнт k_3	2,1	1,9	1,65	1,35	1,00	0,80

4. Значення коефіцієнта k_4 , який враховує форму зерен і матеріал вихідної суміші:

Форма зерен і матеріал вихідної суміші	Коефіцієнт k_4
Зерна многогранної форми будь-якого матеріалу, крім вугілля	1,00
Зерна округлої форми будь-якого матеріалу, крім вугілля	1,25
Зерна вугілля будь-якої форми	1,50

5. Значення коефіцієнта k_5 , який враховує вологість матеріалу й розмір отворів сита:

Коефіцієнт	Розмір отворів сита d , мм				
	до 25 включно			понад 25	
	Матеріал				
	сухий	вологий	схильний до комкування	сухий	вологий
k_5	1,0	0,85	0,4	1,0	0,9

6. Значення коефіцієнта k_6 , який враховує спосіб грохочення:

Грохочення	сухе	мокре зі зрошуванням	будь-яке
Розмір отворів сита d , мм	до 25 включно		понад 25
Коефіцієнт k_6	1,0	1,3	1,0

7. Масова продуктивність грохота, т/год:

$$G = 0,001 \rho_{\text{тн}} g F \prod_{i=1}^6 k_i ,$$

де $g = f(d)$ – питома продуктивність поверхні сита, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$:

d , мм	0	10	20	44	63	80	100	112	130
g , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	0	19	28	40	50	55	63	70	79

Завдання для розрахунку

Визначити масову продуктивність вібраційного самобалансного грохота з робочою площею сита F і діаметром круглих отворів сита d . Вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром менші, ніж половина розміру отворів сита $\bar{x}_{0,5d}$, а зерен, що за розміром більші, ніж розмір отворів сита, \bar{x}_d . Ефективність грохочення η , насипна густина вихідного матеріалу $\rho_{\text{тн}}$.

Варі- ант	F , м^2	d , мм	$\bar{x}_{0,5d}$, %	\bar{x}_d , %	Варі- ант	η , %	Форма зерен	Грохо- чення	Матеріал	$\rho_{\text{тн}}$, кг/м^3
1	3,125	6	10	70	1	75	багатогранна	сухе	апатит	3200
2	3,125	20	12	68	2	76	округла	мокре	барит	4400
3	5,625	10	14	66	3	77	багатогранна	сухе	боксит	2550
4	5,625	30	16	64	4	78	округла	мокре	гіпс	2300
5	6,125	12	18	62	5	79	багатогранна	сухе	доломіт	2900
6	6,125	80	20	60	6	80	округла	мокре	ільменіт	4700
7	7,875	20	22	58	7	81	багатогранна	сухе	кальцит	2700
8	10	12	24	56	8	82	округла	мокре	кварц	2650
9	15	12	26	54	9	83	багатогранна	сухе	вугілля	1500
0	21	40	28	52	0	84	округла	мокре	пірит	5000

Приклад розрахунку вібраційного грохота

Визначити масову продуктивність вібраційного самобалансного грохота з робочою площею сита $F = 21 \text{ м}^2$ і діаметром круглих отворів сита $d = 40 \text{ мм}$. Вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром менші, ніж половина роз-

міру отворів сита $\bar{x}_{0,5d} = 28\%$, а зерен, що за розміром більші, ніж розмір отворів сита, $\bar{x}_d = 52\%$. Ефективність грохочення $\eta = 84\%$, насипна густина вихідного матеріалу $\rho_{\text{тн}} = 5000 \text{ кг/м}^3$. Форма зерен – округла, грохочення – мокре, матеріал – пірит.

Розрахунок

1. Значення коефіцієнта k_1 , який враховує вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром менші, ніж половина розміру отворів сита:

$$k_1 = f(\bar{x}_{0,5d}) = 0,76.$$

2. Значення коефіцієнта k_2 , який враховує вміст у вихідному матеріалі зерен, що за розміром більші, ніж розмір отворів сита:

$$k_2 = f(\bar{x}_d) = 1,46.$$

3. Значення коефіцієнта k_3 , який враховує ефективність грохочення (коефіцієнт корисної дії (ККД) грохота):

$$k_3 = f(\eta) = 1,21.$$

4. Значення коефіцієнта k_4 , який враховує форму зерен і матеріал вихідної суміші:

$$k_4 = 1,25$$

5. Значення коефіцієнта k_5 , який враховує вологість матеріалу й розмір отворів сита:

$$k_5 = 0,9$$

6. Значення коефіцієнта k_6 , який враховує спосіб грохочення:

$$k_6 = 1$$

7. Масова продуктивність грохота, т/год:

$$G = 0,001 \rho_{\text{тн}} g F \prod_{i=1}^6 k_i =$$

$$= 0,001 \cdot 5000 \cdot 36,4 \cdot 21(0,76 + 1,46 + 1,21 + 1,25 + 0,9 + 1) = 25150 \text{ т/год},$$

де $g = f(d)$ – питома продуктивність поверхні сита, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$:

Висновок

Масова продуктивність вібраційного самобалансного грохота становить 25150 т/год.

4. ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Змішуванням твердих сипких матеріалів називається процес приготування сумішей цих матеріалів.

Очевидно, що якість продукції значною мірою залежить від ретельної підготовки сировини. Крім того, інтенсивність та ефективність хімічних реакцій з твердою фазою значно підвищуються з покращанням рівномірності розподілу окремих компонентів у реакційному об'ємі суміші.

4.1. Розрахунок одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів

Для змішування різноманітних порошкових мас, наприклад, у виробництві керамічних виробів за методом сухого пресування, сипких синтетичних мийних засобів, при підготовленні шихти у виробництві скла тощо, широкого застосування набули одновальні та двовальні лопатеві змішувачі безперервної дії.

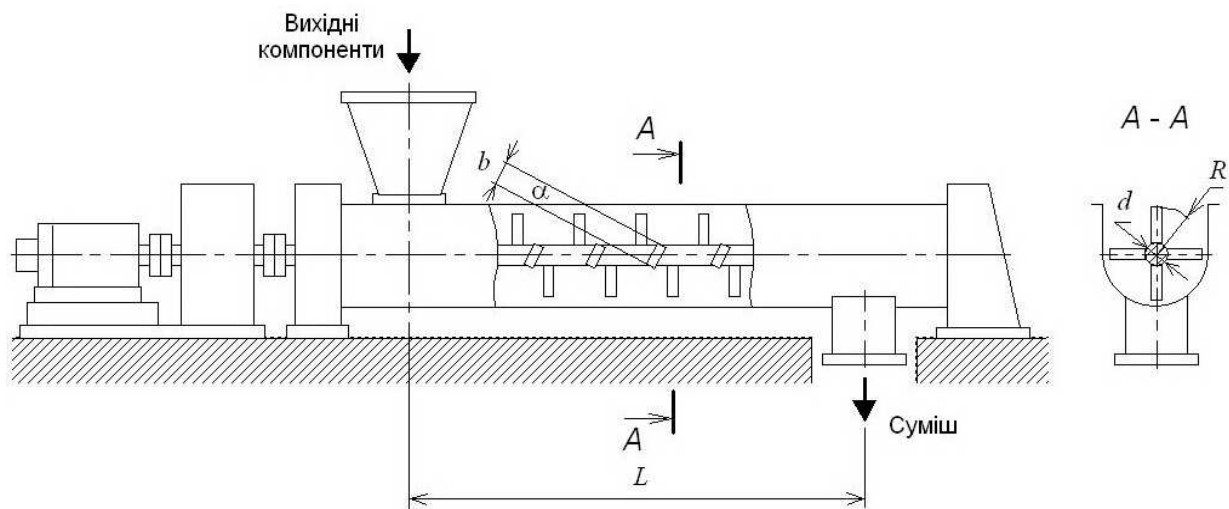


Рис. 4.1. Схема одновального лопатевого змішувача безперервної дії

Мета розрахунку – визначення продуктивності змішувача й потужності його привода.

Позначення вихідних величин

L – довжина робочої частини корпусу змішувача, м;

R – радіус кінців лопатей, м;

b – середня ширина лопаті, м;

z – кількість лопатей;

α – кут нахилу лопаті, ...°;

d – діаметр вала, м;
 n – частота обертання вала, с^{-1} ;
 k – питомий опір перемішуваного матеріалу, Па;
 η – коефіцієнт корисної дії привода;
 $\rho_{\text{тн}}$ – насипна густина суміші, кг/м^3 .

Порядок розрахунку

1. Об'ємна продуктивність змішувача, $\text{м}^3/\text{с}$

$$V = 0,18bn(4R^2 - d^2)\sin \alpha.$$

2. Масова продуктивність змішувача, кг/с

$$G = \rho_{\text{тн}} V.$$

3. Потужність, яка витрачається на подолання опору тертя змішуваної композиції по стінках корита змішувача, Вт

$$N_1 = 49LG.$$

4. Потужність, яка витрачається безпосередньо на змішування композиції, Вт

$$N_2 = 2,182zkV.$$

5. Потужність привода змішувача, Вт

$$N = (N_1 + N_2)/\eta.$$

Завдання для розрахунку

Визначити продуктивність і потужність привода одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів. Параметри змішувача: довжина робочої частини корпусу L , радіус кінців лопатей R , середня ширина лопаті b , кількість лопатей кут нахилу лопаті α ; діаметр вала d , частота обертання вала n ; коефіцієнт корисної дії привода η . Властивості й характеристики змішуваного матеріалу: насипна густина $\rho_{\text{тн}}$, питомий опір, що виникає в матеріалі при заглиблюванні в нього лопатей змішувача, k .

Варі- ант	L	R	b	d	z	Варі- ант	α , ...°	n , с ⁻¹	η	$\rho_{\text{тн}}$, кг/м ³	k , МПа
	м		мм								
1	1,5	0,20	50	50	20	1	10,0	0,30	0,70	1400	0,20
2	1,6	0,21	54	55	20	2	10,5	0,34	0,71	1450	0,21
3	1,7	0,22	58	60	24	3	11,0	0,38	0,72	1500	0,22
4	1,8	0,23	60	65	24	4	11,5	0,40	0,73	1550	0,23
5	1,9	0,24	64	70	28	5	12,0	0,44	0,74	1600	0,24
6	2,0	0,25	68	75	28	6	12,5	0,48	0,75	1650	0,25
7	2,1	0,26	70	80	32	7	13,0	0,50	0,76	1700	0,26
8	2,2	0,27	74	85	32	8	13,5	0,54	0,77	1750	0,27
9	2,3	0,28	78	90	36	9	14,0	0,58	0,78	1800	0,28
0	2,4	0,30	80	100	36	0	15,0	0,60	0,80	1900	0,29

Приклад розрахунку одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів

Визначити продуктивність і потужність привода одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів. Параметри змішувача: довжина робочої частини корпусу $L = 2,4$ м, радіус кінців лопатей $R = 0,3$ м, середня ширина лопаті $b = 80$ мм, кількість лопатей – 36, кут нахилу лопаті $\alpha = 15^\circ$; діаметр вала $d = 100$ мм, частота обертання вала $n = 0,6$ с⁻¹; коефіцієнт корисної дії привода $\eta = 0,8$. Властивості й характеристики змішуваного матеріалу: насипна густина $\rho_{\text{тн}} = 1900$ кг/м³, питомий опір, що виникає в матеріалі при заглиблюванні в нього лопатей змішувача, $k = 0,29$ МПа.

Розрахунок

1. Об'ємна продуктивність змішувача

$$V = 0,18bn(4R^2 - d^2)\sin\alpha =$$

$$= 0,18 \cdot 0,08 \cdot 0,6 \cdot (4 \cdot 0,3^2 - 0,1^2) \cdot \sin 15^\circ = 7,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Масова продуктивність змішувача

$$G = \rho_{\text{тн}}V = 1900 \cdot 7,83 \cdot 10^{-4} = 1,49 \text{ кг/с}.$$

3. Потужність, яка витрачається на подолання опору тертя змішуваної композиції по стінках корита змішувача

$$N_1 = 49LG = 49 \cdot 2,4 \cdot 1,49 = 175 \text{ Вт}.$$

4. Потужність, яка витрачається безпосередньо на змішування композиції

$$N_2 = 2,182 \text{ kV} = 2,182 \cdot 36 \cdot 0,29 \cdot 10^6 \cdot 7,83 \cdot 10^{-4} = 17800 \text{ Вт.}$$

5. Потужність привода змішувача

$$N = \frac{N_1 + N_2}{\eta} = \frac{175 + 17800}{0,8} = 22500 \text{ Вт.}$$

Висновок

Продуктивність одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів:

– об'ємна – $7,83 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;

– масова – $1,49 \text{ кг/с}$.

Потужність привода змішувача становить $22,5 \text{ кВт}$.

5. ЖИВЛЕННЯ Й ДОЗУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Живильники застосовують для рівномірного подавання регульованої кількості матеріалу в різні види збагачувального обладнання, у технологічний процес (наприклад, подрібнювачі, печі, сушарки тощо) або в транспортний потік. За допомогою живильників подають сипкі або поштучні матеріали й вироби. Розрізняють об'ємні й вагові живильники, які бувають як безперервної, так і дискретної дії.

Дозатори застосовують для автоматичного відмірювання (дозування) заданої маси або об'єму твердих сипких матеріалів, паст, рідин і газів.

Живильники для сипких матеріалів поділяють на три групи:

- 1) з тяговим органом (пластинчасті, стрічкові, скребкові);
- 2) з коливальним рухом робочого органу (хитні, вібраційні, маятникові, плунжерні);
- 3) з обертовим органом (дискові, тарілчасті, шнекові (гвинтові), барабанні, лопатеві, секційні).

5.1. Розрахунок барабанного живильника (дозатора)

Барабанні живильники (дозатори) застосовують для подавання в технологічне обладнання й дозування сипких матеріалів (шамот, цемент, пісок, вапно та ін.). Під час обертання барабана його комірки під час проходження під лійкою бункера заповнюються сипким матеріалом, а під час повороту на 180° розвантажуються.

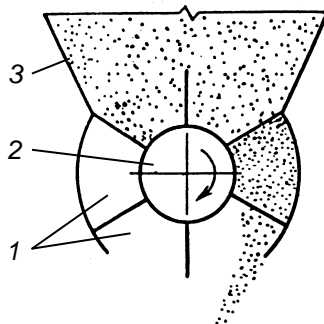


Рис. 5.1. Схема барабанного живильника (дозатора): 1 – комірки; 2 – барабан; 3 – бункер

Мета розрахунку – визначення продуктивності барабанного живильника (дозатора).

Позначення вихідних величин

G_M – масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с;

G_V – об'ємна продуктивність живильника (дозатора), $\text{м}^3/\text{с}$;

$i_{\text{ком}}$ – кількість комірок барабана;

n – частота обертання барабана, с^{-1} .

$V_{\text{ком}}$ – об’єм комірки барабана, м³;
 $\mu_{\text{т}}$ – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу;
 $\rho_{\text{т}}$ – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³.

Порядок розрахунку

1. Об’ємна продуктивність живильника (дозатора), м³/с

$$G_V = V_{\text{ком}} i_{\text{ком}} n,$$

де $V_{\text{ком}}$ – об’єм комірки барабана, м³; $i_{\text{ком}}$ – кількість комірок барабана;
 n – частота обертання барабана, с⁻¹.

2. Масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с

$$G_M = G_V \rho_{\text{т}} \mu_{\text{т}},$$

де $\mu_{\text{т}}$ – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу; $\rho_{\text{т}}$ – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³.

Завдання для розрахунку

Визначити об’ємну й масову продуктивність барабанного живильника (дозатора) для подавання сипкого матеріалу. Параметри живильника (дозатора): об’єм комірки барабана $V_{\text{ком}}$, кількість комірок барабана $i_{\text{ком}}$, частота обертання барабана n . Властивості й характеристики сипкого матеріалу: коефіцієнт розпушення $\mu_{\text{т}}$, істинна густина $\rho_{\text{т}}$.

Варі- ант	Твердий матеріал	$\rho_{\text{т}}$, кг/м ³	$V_{\text{ком}}$, м ³	n , с ⁻¹	Варі- ант	$\mu_{\text{тк}}$	i
1	Апатит	2800	0,0005	0,10	1	0,20	6
2	Антрацит	1600	0,0006	0,15	2	0,25	7
3	Бетон	2300	0,0007	0,20	3	0,30	8
4	Гіпс	2690	0,0008	0,25	4	0,35	9
5	Граніт	3300	0,0009	0,30	5	0,40	10
6	Вапняк високої густини	3000	0,0010	0,35	6	0,45	11
7	Вапняк низької густини	2800	0,0015	0,40	7	0,50	12
8	Вапняк пористий	2600	0,0020	0,45	8	0,55	13
9	Колчедан	5200	0,0025	0,50	9	0,60	14
0	Мергель	2800	0,0030	0,55	0	0,65	15

Приклад розрахунку барабанного живильника (дозатора)

Визначити об’ємну й масову продуктивність барабанного живильника (дозатора) для подавання сипкого апатиту. Параметри живильника (дозатора): об’єм комірки барабана $V_{\text{ком}} = 0,00055$ м³, кількість комірок барабана $i_{\text{ком}} = 6$, частота обертання барабана $n = 0,15$ с⁻¹. Властивості й характеристики апатиту: коефіцієнт розпушення $\mu_{\text{т}} = 0,4$, істинна густина $\rho_{\text{т}} = 2800$ кг/м³.

Розрахунок

1. Об'ємна продуктивність живильника (дозатора)

$$G_V = V_{\text{ком}} i_{\text{ком}} n = 0,00055 \cdot 6 \cdot 0,15 = 4,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Масова продуктивність живильника (дозатора)

$$G_M = 4,95 \cdot 10^{-4} \cdot 2800 \cdot 0,4 = 0,554 \text{ кг/с}.$$

Висновок

Продуктивність барабанного живильника (дозатора) для подавання сипкого апатиту:

- об'ємна – $4,95 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$;
- масова – $0,554 \text{ кг/с}$.

5.2. Розрахунок шнекового живильника

Шнекові (гвинтові) живильники застосовують для подавання сипких матеріалів у промисловості будівельних матеріалів.

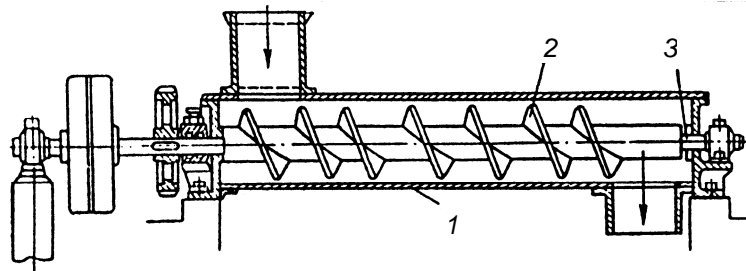


Рис. 6.2. Схема шнекового (гвинтового) живильника: 1 – корпус; 2 – шнек; 3 – вал

Мета розрахунку – визначення продуктивності шнекового (гвинтового) живильника.

Позначення вихідних величин

D – діаметр гребеня шнека, м;

G_M – масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с;

G_V – об'ємна продуктивність живильника (дозатора), $\text{м}^3/\text{с}$;

n – частота обертання шнека, с^{-1} ;

S – крок навивки шнека, м;

φ – коефіцієнт заповнення корпусу сипким матеріалом;

μ_t – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу;

ρ_t – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м^3 .

Порядок розрахунку

1. Об'ємна продуктивність живильника (дозатора), м³/с

$$G_V = \frac{\pi D^2}{4} S n \varphi = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} 0,2 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 0,00226,$$

де D – діаметр гребеня шнека, м; S – крок навивки шнека, м; n – частота обертання шнека, с⁻¹; φ – коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом (для кускового матеріалу $\varphi = 0,20 \dots 0,33$; для порошкоподібного з підпором – $\varphi = 1,0$).

2. Масова продуктивність живильника (дозатора), кг/с

$$G_M = G_V \rho_T \mu_T,$$

де μ_T – коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу; ρ_T – істинна густина сипкого матеріалу, кг/м³.

Завдання для розрахунку

Визначити об'ємну й масову продуктивність шнекового (гвинтового) живильника для подавання сипкого матеріалу. Параметри живильника (дозатора): діаметр гребеня шнека D , крок навивки шнека S , коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом φ , частота обертання шнека n . Властивості й характеристики сипкого матеріалу: коефіцієнт розпушення μ_T , істинна густина ρ_T .

Варі- ант	Твердий матеріал	ρ_T , кг/м ³	D , м	φ	Варі- ант	S , м	μ_{TK}	n , с ⁻¹
1	Апатит	2800	0,16	0,20	1	$0,6 \cdot D$	0,20	1,10
2	Антрацит	1600	0,18	0,22	2	$0,7 \cdot D$	0,25	1,15
3	Бетон	2300	0,20	0,24	3	$0,8 \cdot D$	0,30	1,20
4	Гіпс	2690	0,22	1,0	4	$0,9 \cdot D$	0,35	1,25
5	Граніт	3300	0,24	0,28	5	$1,0 \cdot D$	0,40	1,30
6	Вапняк високої густини	3000	0,26	0,30	6	$1,1 \cdot D$	0,45	1,35
7	Вапняк низької густини	2800	0,28	0,31	7	$1,2 \cdot D$	0,50	1,40
8	Вапняк пористий	2600	0,30	0,32	8	$1,3 \cdot D$	0,55	1,45
9	Колчедан	5200	0,32	0,33	9	$1,4 \cdot D$	0,60	1,50
0	Мергель	2800	0,34	0,26	0	$1,5 \cdot D$	0,65	1,55

Приклад розрахунку барабанного живильника (дозатора)

Визначити об'ємну й масову продуктивність шнекового (гвинтового) живильника для подавання сипкого апатиту. Параметри живильника (дозатора): діаметр гребеня шнека $D=0,2$ м, крок навивки шнека $S=0,2$ м, коефіцієнт заповнення корпуса сипким матеріалом $\varphi=0,3$, частота обертання шнека $n=1,2$ с⁻¹. Властивості й характеристики апатиту: коефіцієнт розпушення $\mu_T=0,4$, істинна густина $\rho_T=2800$ кг/м³.

Розрахунок

1. Об'ємна продуктивність живильника (дозатора)

$$G_V = \frac{\pi D^2}{4} S n \varphi = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} 0,2 \cdot 1,2 \cdot 0,3 = 2,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Масова продуктивність живильника (дозатора)

$$G_M = 2,26 \cdot 10^{-3} \cdot 2800 \cdot 0,4 = 2,53 \text{ кг/с}.$$

Висновок

Продуктивність шнекового (гвинтового) живильника для подавання сіпкого апатиту:

- об'ємна – $2,26 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- масова – $2,53 \text{ кг/с}$.

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Розкажіть про значення механічних процесів у хімічній технології.
2. Що таке дроблення й подрібнення? Чим вони відрізняються одне від одного?
3. З якою метою дроблять і подрібнюють тверді тіла в хімічній промисловості?
4. Якими методами виконують дроблення й подрібнення твердих тіл?
5. Що таке ступінь дроблення (подрібнення) й об'ємний ступінь дроблення (подрібнення)?
6. Як визначають середній розмір грудок (зерен), а також середній розмір фракції сипкого матеріалу?
7. Наведіть класифікацію дроблення й подрібнення залежно від середнього розміру грудок або зерен подрібненого матеріалу?
8. Сформулюйте гіпотези подрібнення. Поясніть «золоте» правило подрібнення.
9. З якою метою застосовують багатостадійне дроблення (подрібнення)?
10. З якою метою дроблення й подрібнення сполучають з попереднім та контрольним (перевірним) грохоченням і класифікацією?
11. Що таке відкритий і замкнений цикли дроблення й подрібнення?
12. З якою метою застосовують багатостадійне дроблення (подрібнення)? Як у цьому випадку визначають загальний ступінь дроблення (подрібнення)?
13. Наведіть класифікацію подрібнювальних машин. Які вимоги ставлять до подрібнювальних машин?
14. Що таке кут тертя й миттєвий кут захоплення подрібнюваного матеріалу в подрібнювальній машині?
15. Що таке коефіцієнт розпушення сипкого матеріалу?
16. Що таке насипна густина сипкого матеріалу? Від яких факторів вона залежить?
17. З яких міркувань визначають кут захоплення й кількість подвійних коливань рухомої щопи щогової дробарки?
18. Яким чином руйнується матеріал у конусних дробарках?
19. З яких міркувань визначають кут захоплення й частоту обертання валків двовалкової дробарки з гладкими валками?
20. Яким чином можна зменшити витрати енергії при подрібненні матеріалу в кульовому барабанному млині?
21. З якою метою застосовуються живильники й дозатори?
22. Що таке грохочення та класифікація твердих матеріалів і з якою метою їх застосовують? Опишіть основні види грохочення.
23. Яким чином визначають гранулометричний склад сипкого матеріалу?
24. Що таке ситовий аналіз? Як його проводять?

25. Що таке ефективність грохочення? Від яких факторів вона залежить?
26. Сформулюйте способи багаторазового грохочення, їх переваги й недоліки.
27. Навіщо потрібне транспортування твердих матеріалів у хімічній технології?
28. З якою метою в хімічній технології застосовують змішування сипких матеріалів?
29. Сформулюйте параметри процесу змішування твердих матеріалів.
30. На які групи поділяють змішувачі сипких матеріалів?
31. Наведіть методи розділення сумішей твердих матеріалів на компоненти.
32. Навіщо потрібне окускування частинок твердих матеріалів?
33. Що таке агломерування, згрудкування, брикетування, таблетування й гранулювання? За допомогою яких методів виконують ці процеси?
34. Яким чином можна інтенсифікувати механічні процеси? Наведіть приклади інтенсифікації процесів подрібнення та змішування твердих матеріалів.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

1. Андреев С. Е., Перов В. А., Зверев В. В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. Москва : Недра, 1980. 415 с.
2. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х книгах. Москва : Химия, 1981. 812 с.
3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Москва : Химия, 1973. 754 с.
4. Классен П. В., Гришаев И. Г., Шомин И. П. Гранулирование. Москва : Химия, 1991. 238 с.
5. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов. Москва : Машиностроение, 1973. 215 с.
6. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та апарати хімічної технології : метод. вказівки / уклад. І. О. Мікульонок. Київ : НТУУ «КПІ», 1999. 64 с.
7. Механічні, гідромеханічні та масообмінні процеси та апарати : метод. вказівки до практичних занять з курсу ПАХТ. 2-ге вид. / уклад. І. О. Мікульонок, Г. Л. Рябцев. Київ : НТУУ «КПІ», 2000. 88 с.
8. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології : підруч. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340 с.
9. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та обладнання хімічної технології : навч. посіб. 2-ге вид., переробл. та доповн. Київ : ІВЦ «Політехніка», 2002. 304 с.
10. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с.
11. Процеси та обладнання хімічної технології. Ч. 1: підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 300 с.
12. Процеси та обладнання хімічної технології. Ч. 2: підручник / Я. М. Корнієнко, Ю. Ю. Лукач, І. О. Мікульонок та ін. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 416 с.
13. Процессы и аппараты химической технологии. В 5 т. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Д. А. Баранов, В. Н. Блиничев, А. В. Вязьмин и др.; под ред. А. М. Кутепова. Москва : Логос, 2002. 600 с.
14. Сапожников М. Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Москва : Высш. шк., 1971. 382 с.
15. Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. Москва : Химия, 1977. 368 с.
16. Шилаев В. П. Основы обогащения полезных ископаемых. Москва : Недра, 1986. 296 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Визначення параметрів процесу дроблення (подрібнення).....	5
1.1. Основні параметри процесу дроблення (подрібнення) твердих матеріалів.....	5
1.2. Визначення ступеня дроблення (подрібнення) твердого матеріалу	6
1.3. Визначення середнього розміру грудок (зерен) подрібненого матеріалу	11
1.4. Визначення еквівалентного діаметра грудки (зерна) твердого матеріалу правильної геометричної форми	14
2. Дроблення і подрібнювання твердих матеріалів.....	19
2.1. Розрахунок щогової дробарки.....	19
2.2. Розрахунок конусної дробарки крупного дроблення	24
2.3. Розрахунок валкової дробарки	29
2.4. Розрахунок барабанного кульового млина	34
3. Грохочення сипких матеріалів.....	37
3.1. Розрахунок вібраційного грохота.....	37
4. Змішування сипких матеріалів.....	41
4.1. Розрахунок одновального лопатевого змішувача безперервної дії для змішування сипких матеріалів	41
5. Живлення й дозування сипких матеріалів.....	45
5.1. Розрахунок барабанного живильника (дозатора)	45
5.2. Розрахунок шнекового живильника	47
Питання для самоконтролю.....	50
Список рекомендованих навчально-методичних матеріалів	52

Електронне мережне навчальне видання

Мікульонок Ігор Олегович

**МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ, АПАРАТИ І МАШИНИ ХІМІЧНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ.**

Практикум з навчальної дисципліни

*для студентів, які навчаються
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»,
освітньою програмою «Інжиніринг, обладнання та технології
виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»
і спеціальністю 131 «Прикладна механіка»,
освітньою програмою «Машини і технології пакування»*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*